

NACIONES  
UNIDAS

EP



Distr. LIMITADA

PNUMA(DEPI)/CAR WG.41/INF.10/Rev.1

7 de Junio de 2021

Original: INGLÉS

Quinta Reunión del Comité Asesor Científico y Técnico (STAC) del Protocolo Relativo a la Contaminación Procedente de Fuentes y Actividades Terrestres en el Gran Caribe.

Virtual

Del 15 al 17 de marzo de 2021

**Plan Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes  
Estrategia y Plan de Acción para 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.*

\* Este documento ha sido reproducido sin edición formal.

# **Plan Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes Estrategia y Plan de Acción para la Región del Gran Caribe**

*[Versión revisada para su aprobación por las  
Partes Contratantes del Protocolo relativo a  
Fuentes Terrestres (FTCM), Convenio de  
Cartagena, junio de 2021]*

# ***PNUMA-PAC 2021***

<b>CRÉDITOS</b>	
<b>Coordinación:</b>	Secretaría del Convenio de Cartagena, Programa Ambiental del Caribe (PAC) del PNUMA, Christopher Corbin
<b>Co-coordinador:</b>	Instituto de Asuntos Marinos (IMA), Trinidad y Tobago, Darryl Banjoo
<b>Autores principales:</b>	Liana Talaue McManus y Sherry Heileman
<b>Autores, Informes subregionales en apoyo de la Estrategia y Plan de Acción Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes (RNPRSAP)</b>	
<i>CIMAB (Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte)</i>	Marlén Pérez Hernández, Yamiris Gómez D'Angelo, Freddy Potrille Tito, Jesús Beltrán Gonzáles, Liuba Chabalina
<i>Instituto de Asuntos Marinos (IMA)</i>	Darryl Banjoo, Rahanna Juman, Wendy Nelson, Ruqayyah Thompson, Rosemarie Kishore, Ben Maharaj, Sheldon Ramoutar, Yasim Edo, Denise Beckles
<i>Universidad de las Indias Occidentales (San Agustín)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amazonas: Patricia Chaves de Oliveira, Fernanda Nascimento Ufopa, Jose Eduardo Martinelli Filho</li> <li>• Guyana, Surinam, Venezuela: Steve Renfurm</li> <li>• Coordinación: Norbert Fenzl</li> </ul>
<b>Autores colaboradores</b>	Christopher Corbin, Darryl Banjoo
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>Proveedores de datos</b>	
<i>PBL Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo IMAGE-GNM, Arthur Beusen</li> <li>• Aguas residuales urbanas, Peter J.T.M. van Puijenbroek</li> </ul>
<i>Laboratorio de Física Aplicada de la Universidad de Washington</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo de Global NEWS, Emilio Mayorga</li> </ul>
<b>Revisores</b>	
<i>Unidad de coordinación del proyecto CLME+ RAC-CIMAB</i>	Laverne Walker, Patrick Debels, Martha Prada Triana
<i>RAC-IMA</i>	Marlen Perez Hernandez, Jesus Beltran Gonzales, Yamiris Gomez D'Angelo, Liuba Chabalina, Freddy Potrille Tito
<i>GRID-Arendal</i>	Darryl Banjoo, Rahanna Juman
<i>Oficina Regional del PNUMA (América Latina y el Caribe)</i>	Morten Sorensen, Thomas Maes
<i>Alianza Mundial del PNUMA para la Gestión de Nutrientes</i>	Christopher Cox
<i>PNUMA/ UCR/ CAR</i>	Mahesh Pradhan, Milcah Ndegwa
<i>Universidad EAFIT, Colombia</i>	Christopher Corbin
<i>Universidade Federal do Pará</i>	Marco Tosic
<i>Instituto de Recursos Mundiales</i>	Norbert Fenzl, Jose E. Martinelli Filho
<i>Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación de Fuentes Terrestres (FT)</i>	Lauretta Burke
<i>Comité Asesor Científico y Técnico (STAC) del Protocolo FTCM</i>	Miembros
<b>Procesamiento de datos de cuencas hidrográficas, cartografía de parámetros</b>	Miembros
<b>Cartografía de cuencas hidrográficas</b>	Lisa C. McManus, Universidad de Hawaii
<b>Diseño gráfico</b>	Hamish Asmath, Gyasi Collins, Nikia Gooding (IMA)
<b>Citación</b>	Karl Doyle (IMA)
<b>Apoyo Financiero</b>	<b>PNUMA/PAC 2021. Estrategia regional de reducción de la contaminación por nutrientes y plan de acción para la región del Gran Caribe. Autores: L.Talaue McManus, S. Heileman, C. Corbin, D. Banjoo</b>
	

# Contenido

FIGURAS .....	7
TABLAS .....	13
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS .....	16
<b>1 POR QUÉ UNA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES Y UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REGIÓN DEL CARIBE .....</b>	<b>21</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	21
1.2 FERTILIZAR EL OCÉANO: LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES Y SUS CONSECUENCIAS .....	22
1.2.1 <i>Nutrientes en el océano</i> .....	22
1.2.2 <i>Fuentes externas de nutrientes</i> .....	23
1.2.3 <i>Impactos ecológicos y consecuencias socioeconómicas de la contaminación por nutrientes</i> .....	24
1.3 EL RETO DE LOS NUTRIENTES Y LA AGENDA GLOBAL DE DESARROLLO .....	26
1.4 ESTRATEGIA Y PLAN DE ACCIÓN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES DE LA RGC .....	29
1.5 ORGANIZACIÓN DE ESTE INFORME .....	30
<b>2 ENTRADAS, FUENTES Y CARGAS DE NUTRIENTES EN EL GRAN CARIBE.....</b>	<b>31</b>
2.1 FUENTES Y MÉTODOS DE DATOS.....	31
2.1.1 <i>Enfoque de cuenca</i> .....	31
2.1.2 <i>Datos de entrada y análisis</i> .....	32
2.1.3 <i>Plan de acción y estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes de la RGC (RGC-NPRSAP)-Base de Datos V2</i> .....	34
2.2 USO DE LA TIERRA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA RGC. ....	36
2.2.1 <i>Uso de la tierra agrícola</i> .....	37
2.2.2 <i>Superficies edificadas</i> .....	40
2.3 FUENTES DE AGROQUÍMICOS .....	45
2.3.1 <i>Eficiencia en el uso de fertilizantes sintéticos y nutrientes</i> .....	45
2.3.2 <i>Insumos de plaguicidas</i> .....	49
2.4 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y ALCANTARILLADO .....	54
2.5 ESCORRENTÍA URBANA (AGUAS PLUVIALES) .....	56
2.6 FUENTES PUNTUALES INDUSTRIALES .....	57
2.6.1 <i>Inventario sistemático para el período 1997 a 2008</i> .....	57
2.6.2 <i>Fuentes puntuales de amoníaco industriales y agrícolas (NH3)</i> .....	58
2.7 POLVO DEL SAHARA .....	59
2.8 FUENTES DE NUTRIENTES UTILIZANDO MODELOS INTEGRADOS .....	60
2.9 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (TSS) .....	66
2.10 FUENTES MARINAS DE CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES.....	67
2.10.1 <i>Turismo de cruceros</i> .....	68
2.10.2 <i>Turismo náutico</i> .....	75
2.11 FUENTES DE NUTRIENTES: OBSERVACIONES FINALES .....	84
<b>3 IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE .....</b>	<b>86</b>
3.1 IMPACTOS ECOLÓGICOS .....	86
3.1.1 <i>La contaminación por nutrientes degrada la calidad del agua</i> .....	86
3.1.2 <i>La contaminación por nutrientes provoca la eutrofización de las aguas costeras</i> .....	95
3.1.3 <i>La contaminación por nutrientes favorece la formación de floraciones de algas nocivas (FAN)</i> .....	101
3.1.4 <i>La contaminación por nutrientes provoca la formación de zonas hipóxicas en aguas estratificadas</i> .....	106
3.1.5 <i>Contaminación por nutrientes, hipoxia y pesca</i> .....	110
3.1.6 <i>Contaminación por nutrientes, arrecifes de coral y comunidades de pastos marinos</i> .....	112
3.1.7 <i>Contaminación por nutrientes y floraciones de sargazo nocivas</i> .....	115

3.2	IMPACTOS SOCIALES .....	121
3.2.1	<i>Exposición a plaguicidas .....</i>	121
3.2.2	<i>Exposición a los patógenos de los residuos domésticos.....</i>	122
3.2.3	<i>Exposición a las floraciones de algas nocivas (HABS) y a las floraciones de sargazos molestos .....</i>	123
3.2.4	<i>Enriquecimiento ambiental de nutrientes y aparición de enfermedades .....</i>	123
3.3	IMPACTOS ECONÓMICOS.....	124
3.3.1	<i>Costes de la contaminación por nutrientes en los sistemas de agua dulce .....</i>	124
3.3.2	<i>Costes de las floraciones de algas nocivas en las aguas costeras.....</i>	125
3.3.3	<i>Costes de la floración molesta de sargazos .....</i>	126
3.3.4	<i>Costes de la mitigación de las enfermedades inducidas por la contaminación por nutrientes .....</i>	126
<b>4</b>	<b>BASES EXISTENTES PARA ABORDAR LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE..</b>	<b>127</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.....	127
4.2	GOBERNANZA DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES .....	128
4.2.1	<i>Marco institucional.....</i>	128
4.2.2	<i>Instrumentos de gobernanza .....</i>	132
4.3	SEGUIMIENTO .....	141
4.4	CAPACIDAD TÉCNICA Y DE LABORATORIO.....	144
4.5	DISPONIBILIDAD DE DATOS E INFORMACIÓN.....	144
4.6	EVALUACIONES .....	145
4.7	PROYECTOS RELEVANTES .....	146
4.8	PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS, DIVULGACIÓN Y PROMOCIÓN.....	146
4.9	RETOS Y NECESIDADES .....	148
4.10	OPORTUNIDADES POTENCIALES .....	149
4.11	CONCLUSIÓN.....	150
<b>5</b>	<b>ESTRATEGIA Y PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE (2021-2030) .....</b>	<b>150</b>
5.1	INTRODUCCIÓN.....	150
5.2	META, OBJETIVOS Y PRINCIPIOS RECTORES .....	151
5.2.1	<i>Meta .....</i>	151
5.2.2	<i>Objetivos generales.....</i>	151
5.2.3	<i>Principios rectores.....</i>	152
5.2.4	<i>Público objetivo.....</i>	152
5.2.5	<i>Enfoque propuesto.....</i>	153
5.3	FUENTES DE NUTRIENTES, CARGAS E IMPACTOS .....	154
5.3.1	<i>Métodos.....</i>	154
5.3.2	<i>Base de datos de la Estrategia Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes (RNPRSAP) 156</i>	
5.3.3	<i>El cambio en el uso de la tierra impulsa la adición de nutrientes en exceso.....</i>	157
5.3.4	<i>Fuentes de nutrientes contaminantes: Urbanización y aguas residuales domésticas no tratadas.....</i>	163
5.3.5	<i>Fuentes de nutrientes contaminantes mediante modelización integrada.....</i>	163
5.3.6	<i>Fuentes marinas de contaminación por nutrientes .....</i>	165
5.3.7	<i>Impactos de la contaminación por nutrientes: Cargas inorgánicas, eutrofización e hipoxia .....</i>	168
5.3.8	<i>La contaminación por nutrientes y la molesta floración de sargazos.....</i>	171
5.3.9	<i>Contaminación por nutrientes y cambio climático .....</i>	173
5.4	ALCANCE Y ESTRUCTURA DEL RNPRSAP .....	173
5.4.1	<i>Ámbito de aplicación .....</i>	173
5.4.2	<i>Estructura.....</i>	175
5.5	PILARES, OBJETIVOS, METAS E INDICADORES .....	179
5.5.1	<i>Pilar 1: Gestión sostenible de los nutrientes en la producción agrícola y ganadera.....</i>	179
5.5.2	<i>Pilar 2. Movilización de nutrientes desde fuentes no puntuales.....</i>	183
5.5.3	<i>Pilar 3: Efluentes de aguas residuales domésticas.....</i>	187

5.5.4	<i>Pilar 4: Efluentes industriales</i> .....	191
5.5.5	<i>Pilar 5: Fuentes marinas de nutrientes</i> .....	193
5.5.6	<i>Pilar 6: Calidad de las aguas costeras</i> .....	195
5.5.7	<i>Pilar 7: Hábitats costeros y marinos productivos</i> .....	198
5.5.8	<i>Pilar 8: Bienestar humano y economía azul</i> .....	199
5.5.9	<i>Pilar 9. Permitir la aplicación efectiva del NPRSAP de la RGC</i> .....	201
5.6	APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA .....	213
5.6.1	<i>Marco de aplicación institucional</i> .....	214
5.7	MARCO DE ACTUACIÓN.....	214
5.8	RECOMENDACIONES/ PRÓXIMOS PASOS PARA EL DESPLIEGUE DEL RNPRSAP.....	221
<b>6</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>223</b>
6.1	ANEXO 3.1 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE .....	223
6.2	ANEXO 3.2 CUENCAS FLUVIALES TRANSFRONTERIZAS EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE .....	245
6.3	ANEXO 3.3 INFORMES DE INUNDACIONES COSTERAS DE SARGAZO: .....	248

**nocivasnocivas**

## FIGURAS

FIGURA 1.1 EL GRAN MAR CARIBE Y LA ZONA DEL CONVENIO DE CARTAGENA .....	21
FIGURA 1.2 PROPORCIÓN DE SITIOS DE MUESTREO QUE MUESTRAN UN ESTADO BUENO, REGULAR Y MALO EN LA ESTACIÓN HÚMEDA PARA EL NITRÓGENO INORGÁNICO DISUELTO (DIN). EL NÚMERO QUE PRECEDE AL PAÍS Y A LA UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL ES LA SUBREGIÓN SOCAR; EL NÚMERO ENTRE PARÉNTESIS ES EL NÚMERO DE SITIOS DE MUESTREO. (ESTADO: VERDE: BUENO; AMARILLO: REGULAR; ROJO: MALO) (PNUMA-PAC, 2019). .....	25
FIGURA 1.3 EL "NEXO DE LOS NUTRIENTES". LOS CICLOS DE LOS NUTRIENTES REPRESENTAN UN NEXO CLAVE ENTRE LOS RETOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y MEDIOAMBIENTALES MUNDIALES. MEJORAR LA EFICIENCIA DEL USO DE LOS NUTRIENTES EN TODA LA CADENA SE CONVIERTE EN LA CLAVE COMPARTIDA PARA OBTENER MÚLTIPLES BENEFICIOS (SUTTON ET AL., 2013). .....	26
FIGURA 1.4 ILUSTRACIÓN DE LAS MÚLTIPLES FORMAS EN LAS QUE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL NITRÓGENO PUEDE CONTRIBUIR AL CUMPLIMIENTO DE LOS ODS, DESTACANDO EL POTENCIAL DE UNA AMBICIOSA ASPIRACIÓN DE REDUCIR A LA MITAD LOS RESIDUOS DE NITRÓGENO A NIVEL MUNDIAL PROCEDENTES DE TODAS LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN POR NITRÓGENO PARA 2030 (SUTTON ET AL., 2013). .....	27
FIGURA 2.1 UNA UNIDAD DE CUENCA INCLUYE LA TIERRA Y LA RED DE ARROYOS Y RÍOS QUE DRENA. ESTÁ DELIMITADO POR UNA DIVISIÓN DE DRENAJE QUE ES LA FORMACIÓN DE TIERRA CON LA ELEVACIÓN MÁS ALTA DE DONDE SE ORIGINAN LAS CABECERAS. TAMBIÉN SE INCLUYEN FUENTES DE NUTRIENTE NO PUNTUALES Y PUNTUALES QUE CONDUCEN A ESTUARIOS Y AGUAS COSTERAS. (FUENTE: WURTSBAUGH ET AL.2019). .....	32
FIGURA 2.2 EL USO DE LA TIERRA EN LA CUENCA DETERMINA EN GRAN MEDIDA LAS FUENTES DE NUTRIENTES Y CONTAMINANTES ASOCIADOS QUE IMPACTAN NEGATIVAMENTE LAS AGUAS COSTERAS. ESTOS INCLUYEN LA CONVERSIÓN DE BOSQUES EN TIERRAS DE CULTIVO Y PASTOS PARA EL GANADO, Y EXTENSIONES URBANAS PAVIMENTADAS CON SUPERFICIES IMPERMEABLES. LA ESCORRENTÍA AGRÍCOLA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS Y LOS FLUJOS URBANOS NO PUNTUALES CONTRIBUYEN AL EXCESO DE CARGAS DE NUTRIENTES EN LAS VÍAS FLUVIALES QUE LLEGAN HASTA LA COSTA. (FUENTE: PAERL 2006) <a href="http://www.coastalwiki.org/wiki/Portal:Eutrophication/Concept_Drawing">HTTP://WWW.COASTALWIKI.ORG/WIKI/PORTAL:EUTROPHICATION/CONCEPT_DRAWING</a> .....	36
FIGURA 2.3 DE 1961 A 2018, CAMBIOS NETOS EN TIERRAS DE CULTIVO Y PASTOS EN LOS PAÍSES Y TERRITORIOS DE LA RGC (MILLONES DE KM MUESTRAN UN AUMENTO NETO GRADUAL DEL 10% DURANTE CASI SEIS DÉCADAS DESPUÉS DE LA REVOLUCIÓN VERDE. LOS PASTOS TENÍAN CASI EL DOBLE DE SUPERFICIE EN COMPARACIÓN CON LAS TIERRAS DE CULTIVO Y AUMENTARON UN 8% DURANTE EL MISMO PERÍODO. LOS BOSQUES DURANTE EL PERÍODO REGISTRADO A PARTIR DE 1990 MOSTRARON UNA DISMINUCIÓN MÁS PRONUNCIADA CON MÁS DE UN MILLÓN DE KILÓMETROS PERDIDOS DURANTE CASI TRES DÉCADAS (NO SEIS DÉCADAS) PARA LOS CUALES SE HAN SISTEMATIZADO DATOS. (FUENTE DE DATOS DE ENTRADA: FAOSTAT). .....	38
FIGURA 2.4 TENDENCIAS DE POBLACIÓN (A) Y URBANIZACIÓN (B) EN LA RGC. (HEILEMAN Y TALAUE-MCMANUS ET AL, 2020; FUENTE DE DATOS DE ENTRADA: PERSPECTIVAS DE URBANIZACIÓN MUNDIAL DE LA ONU 2018. ....	42
FIGURA 2.5 PAPEL DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS EN EL PRESUPUESTO REGIONAL DE N DE LA RGC Y GENERACIÓN DE EXCEDENTES DE N COMO CARGA DE FUENTE POTENCIAL DE NUTRIENTES PARA EL PERÍODO 1961 A 2009. A. LOS FLUJOS DE NUTRIENTES PRINCIPALES (APORTES TOTALES DE NITRÓGENO, FERTILIZANTES Y EXCESO DE NITRÓGENO) AUMENTAN DURANTE EL PERÍODO DE ESTUDIO. EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS TAMBIÉN AUMENTA, PERO NO DE MANERA PROPORCIONAL. LA EFICIENCIA EN EL USO DE NITRÓGENO (NUE) (B), QUE ES EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE N SOBRE LOS INSUMOS TOTALES DE N, DE HECHO, MUESTRA UNA TENDENCIA QUE DISMINUYE EXPONENCIALMENTE CON EL TIEMPO. ESTA EFICIENCIA DECRECIENTE CONDUCE A UN AUMENTO DEL EXCESO DE N, QUE ES LA CARGA POTENCIAL DE NUTRIENTES CONTAMINANTES. ....	47
FIGURA 2.6 LAS TASAS TOTALES DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS (KG POR HECTÁREA DE TIERRA DE CULTIVO) PARA EL PERÍODO 1990 A 2018 SE MUESTRAN PARA 22 ESTADOS Y TERRITORIOS CONTINENTALES E INSULARES DE LA RGC CON DATOS EN FAOSTAT (TASAS DE APLICACIÓN A ESCALA DE PAÍS). EL ÚLTIMO GRÁFICO MUESTRA UN USO CRECIENTE A LO LARGO DEL TIEMPO EN TODAS LAS TIERRAS DE CULTIVO DURANTE EL PERÍODO INFORMADO. LOS PESTICIDAS TOTALES INCLUYEN HERBICIDAS, FUNGICIDAS, BACTERICIDAS E INSECTICIDAS.....	50
FIGURA 2.7 LOS 10 PAÍSES PRINCIPALES CON LAS TASAS MÁS ALTAS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN PROMEDIO DURANTE EL PERÍODO DE MONITOREO DE 28 AÑOS DESDE 1990. CINCO PERTENECEN A LA REGIÓN DE LA RGC: LAS BAHAMAS (#1), COSTA RICA (# 2), BARBADOS (#3), SANTA LUCÍA (#5) Y COLOMBIA (# 7). LOS PROMEDIOS ANUALES DE LAS TASAS REGIONALES (COMO MEDIA SIMPLE NO PONDERADA ENTRE LOS PAÍSES DE LA RMC CADA AÑO) SE REPRESENTAN EN FIGURA 2.5B. (FUENTE: FAO ESS <a href="http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize">HTTP://WWW.FAO.ORG/FAOSTAT/EN/#DATA/EP/VISUALIZE</a> ). .....	52
FIGURA 2.8 EL PANEL DE LA IZQUIERDA MUESTRA UN PORCENTAJE CRECIENTE DE ENFERMEDADES DIARREICAS ATRIBUIDAS A FACTORES DE RIESGO AMBIENTAL (AGUA NO POTABLE, SANEAMIENTO Y LAVADO DE MANOS) PARA EL PERÍODO 1990 A 2016 EN AMÉRICA LATINA	

Y EL CARIBE. EL PANEL DE LA DERECHA MUESTRA QUE LAS ENFERMEDADES CAUSADAS POR PATÓGENOS DE LAS AGUAS RESIDUALES COMO EL CÓLERA, LA ENTERITIS POR ROTAVIRUS Y LA INFECCIÓN POR E. COLI ENTEROTOXIGÉNICA HAN AUMENTADO EN EL RANGO DE FACTORES DE MORTALIDAD DURANTE EL MISMO PERÍODO. (FUENTE DE DATOS: <a href="https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/">HTTPS://VIZHUB.HEALTHDATA.ORG/GBD-COMPARE/</a> ; COLABORADORES DE FACTORES DE RIESGO DE GBD 2016).	56
FIGURA 2.9 MARCO MODELO PARA ESTIMAR LAS CARGAS DE NUTRIENTES POR FUENTE, NETO DE LOS PROCESOS DE RETENCIÓN Y REMOCIÓN, Y SU ACUMULACIÓN EN PUNTOS DE EVENTUAL DESCARGA A LAS AGUAS COSTERAS. TENGA EN CUENTA LOS PARÁMETROS BASADOS EN EL PROCESO QUE SE UTILIZAN PARA TRANSPORTAR NUTRIENTES A TRAVÉS DEL AGUA. (FUENTE: BEUSEN ET AL.2015). PCR-GLOBWB (PCRASTER GLOBAL WATER BALANCE); IMAGEN (MODELO INTEGRADO DE EVALUACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE GLOBAL).	61
FIGURA 2.10 (A) FUENTES DE NITRÓGENO PARA LAS SUBREGIONES AGREGADAS I A V (EXCLUYENDO NBS LME; (B) CARGAS DE NITRÓGENO POR FUENTE POR SUBREGIÓN RGC PARA EL AÑO MODELO 2000 COMO PORCENTAJE DE LAS CARGAS TOTALES DE N SUBREGIONALES; (C) CARGA DE NITRÓGENO POR FUENTE EN EL LME DE LA PLATAFORMA DEL NORTE DE BRASIL (NBS); LOS ÍTEMS A-C SON PARA EL AÑO MODELO 2000; Y (D) CARGA TOTAL DE NITRÓGENO DESCARGADA EN LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS EN LA RGC DE 1900 A 2000.	64
FIGURA 2.11 (A). CARGAS DE P POR FUENTE PARA LA CARGA TOTAL AGREGADA PARA LAS SUBREGIONES I A V (MENOS LME DE NBS); (B) CARGAS DE P POR FUENTE COMO PORCENTAJE DE LAS CARGAS DE P TOTALES SUBREGIONALES; (C). CARGAS DE P POR FUENTE EN EL LME DE NBS; LOS ÍTEMS A - C SON PARA EL AÑO MODELO 2000. (D) CARGA TOTAL DE FÓSFORO (TG N) DESCARGADA EN LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS EN LA RGC DE 1900 A 2000. (DATOS DE ENTRADA: BEUSEN ET AL. 2016).	65
FIGURA 2.12 CARGAS DE NUTRIENTES DE FUENTES EN 1900 Y 2000. LAS CARGAS DE NITRÓGENO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN ÁREAS AGRÍCOLAS (AZUL OSCURO) Y DE FUENTES PUNTUALES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (VIOLETA) AUMENTARON DRAMÁTICAMENTE DURANTE UN SIGLO. EN EL CASO DEL FÓSFORO, SON EVIDENTES LOS AUMENTOS EN LA ESCORRENTÍA AGRÍCOLA (AGUA) JUNTO CON LAS FUENTES PUNTUALES DOMÉSTICAS (VIOLETA).	66
FIGURA 2.13 CAPTACIONES DE LA RGC RGC CON LOS MAYORES RENDIMIENTOS DE TSS. LOS NOMBRES DE LAS CUENCAS SON EL CÓDIGO ISO DEL PAÍS SEGUIDO DEL NÚMERO DE CUENCA EN EL CONJUNTO DE DATOS DE GLOBAL NEWS. CRI COSTA RICA, PAN PANAMÁ, GTM GUATEMALA, HTI HAITÍ, DOM REPÚBLICA DOMINICANA, COL COLOMBIA, MEX MÉXICO, JAM JAMAICA. ENTRE LAS 23 PRINCIPALES SE ENCUENTRAN 7 CUENCAS INSULARES (5 EN HAITÍ, 1 EN JAMAICA Y REPÚBLICA DOMINICANA); 10 CUENCAS EN CENTROAMÉRICA, 3 EN COLOMBIA Y 3 EN MÉXICO.	67
FIGURA 2.14 PUERTOS DE CRUCEROS CRUCEROS EN EL GRAN CARIBE. NO SE INCLUYEN LOS PUERTOS DE EE. UU. Y BRASIL (DIRECCIÓN DE TURISMO SOSTENIBLE DE LA ACS, 2016). [SEQUÍA]	69
FIGURA 2.15 BOLETA DE CALIFICACIONES DEL AÑO 2020 PARA 18 LÍNEAS DE CRUCEROS EVALUADAS POR AMIGOS DE LA TIERRA JUNTO CON LOS DETALLES DISPONIBLES EN EL SITIO WEB DE FOE. (FUENTE: <a href="https://foe.org/projects/cruise-hips/?issue=335">HTTPS://FOE.ORG/PROJECTS/CRUISE-HIPS/?ISSUE=335</a> )	71
FIGURA 2.16 TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE BUQUES MEDIANTE UN DISPOSITIVO DE SANEAMIENTO MARINO DE TIPO II MEDIANTE TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y DESINFECCIÓN POR CLORACIÓN. (FUENTE: EPA DE EE. UU., 2008).	72
FIGURA 2.17 CONCENTRACIONES ESTIMADAS DE BIOSÓLIDOS SECOS RESULTANTES DE UN PERÍODO SUPUESTO DE 3 MESES DE DESCARGAS CONTINUAS DE TODAS LAS LÍNEAS DE CRUCEROS EN OPERACIÓN EN EL MOMENTO DEL ESTUDIO, ASUMIENDO QUE NO HAY DESCOMPOSICIÓN. CONDICIONES DEL MODELO: DIARIOS 50 KG/M3 O 5% DE BIOSÓLIDOS HÚMEDOS. (FUENTE: AVELLANEDA ET AL. 2011).	74
FIGURA 2.18 PASAJEROS DE YATES, CRUCEROS Y VISITANTES TOTALES EN LOS ESTADOS MIEMBROS DE LA UNIÓN MONETARIA DEL CARIBE ORIENTAL: ANGIULA, ANTIGUA Y BARBUDA, DOMINICA, GRANADA, MONTSERRAT, SAINT KITTS Y NEVIS, SANTA LUCÍA Y SAN VICENTE Y LAS GRANADINAS. (FUENTE DE DATOS DE ENTRADA: <a href="https://www.eccb-centralbank.org">HTTPS://WWW.ECCB-CENTRALBANK.ORG</a> ).	77
FIGURA 2.19 NITRÓGENO TOTAL DE DESECHOS ESTIMADO CARGADO POR TURISTAS Y RESIDENTES EN LAS BAHAMAS PARA EL AÑO MODELO 2004. LOS NAVEGANTES, TANTO EN INVIERNO COMO EN VERANO, DESCARGARON EL 4% DE LA CARGA DE N TOTAL DE DESECHOS, EQUIVALENTE A O 56 TONELADAS TN POR AÑO (TALAUE-MCMANUS ET AL. 2008)).	78
FIGURA 2.20 DISTRIBUCIÓN MODELADA DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA SATISFACER LAS NECESIDADES DE ELIMINACIÓN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE LA POBLACIÓN NAVEGANTE EN LAS BAHAMAS EN 2002 Y EN EL CORTO PLAZO (BROOKS 2004; TALAUE-MCMANUS ET AL. 2008).	78
FIGURA 2.21 A. ECONOMÍA OCEÁNICA DEL CARIBE PRINCIPALMENTE INSULAR DOMINADA POR EL TRANSPORTE MARÍTIMO. B. EL TRIÁNGULO DE TRANSBORDO DEL CARIBE CON PUERTOS CENTRALES DEFINE LA ENTRADA DE MERCANCÍAS A LA CUENCA DEL CARIBE. LOS PUERTOS DEL CENTRO PRINCIPAL (TRANSBORDO) SE MUESTRAN COMO CÍRCULOS NARANJAS. (FUENTES: HEILEMAN Y TALAUE-MCMANUS (2019); <a href="https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part1/ports-and-container-hipping/container-port-traffic-transshipment-traffic-caribbean/">HTTPS://PORTECONOMICSMANAGEMENT.ORG/PEMP/CONTENTS/PART1/PORTS-AND-CONTAINER-HIPPING/CONTAINER-PORT-TRAFFIC-TRANSSHIPMENT-TRAFFIC-CARIBBEAN/</a> )	80
FIGURA 2.22 TENDENCIAS EN EL CRECIMIENTO DEL RENDIMIENTO DE CONTENEDORES PARA (A) LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE Y (B) EL CARIBE INSULAR. (FUENTE DE DATOS DE ENTRADA: CEPAL)	81

FIGURA 2.23 EVALUACIONES DEL RIESGO POTENCIAL DE DERRAME DE PETRÓLEO POR ACTIVIDAD DE TRANSPORTE MARÍTIMO: (A) PETROLERO DE CRUDO; (B) BUQUE CISTERNA DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS, (C) PORTACONTENEDORES, (D) CRUCERO, Y (E) ACTIVIDADES COMBINADAS. (FUENTE: SINGH ET AL., 2015).....	85
FIGURA 3.1 PAÍSES Y TERRITORIOS QUE PRESENTARON CONJUNTOS DE DATOS NACIONALES SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA (SOMBREADOS EN AZUL). LOS DATOS DE LOS PAÍSES INSULARES RESALTADOS EN ROJO SE OBTUVIERON DE LA AGENCIA DE SALUD PÚBLICA DEL CARIBE (CARPHA). .....	87
FIGURA 3.2 SITIOS DE MONITOREO DURANTE LA ESTACIÓN HÚMEDA MOSTRANDO SITIOS BUENOS, REGULARES Y POBRES PARA: A. NITRÓGENO INORGÁNICO DISUELTUO (DIN), B. FÓSFORO INORGÁNICO DISUELTUO (DIP). LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). .....	89
FIGURA 3.3 LUGARES DE SEGUIMIENTO DE LA CLOROFILA A EN LA ESTACIÓN HÚMEDA. LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). .....	90
FIGURA 3.4 EVALUACIÓN DE LOS SITIOS DE MONITOREO DE PATÓGENOS ENTÉRICOS UTILIZANDO ESTÁNDARES BINARIOS (PANEL A) DURANTE LA ESTACIÓN HÚMEDA. EL PANEL B MUESTRA EL ESTADO DE LOS SITIOS PARA ENTEROCOCCUS, Y EL PANEL C PARA E. COLI. LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). .....	91
FIGURA 3.5 EVALUACIÓN DE SOCAR DE LA TURBIDEZ EN LOS SITIOS MONITOREADOS DURANTE LA ESTACIÓN HÚMEDA. LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). RANGO ACEPTABLE: 0 - 1,5 UNIDADES NEFELOMÉTRICAS DE TURBIDEZ (NTU). .....	92
FIGURA 3.6 EVALUACIÓN DE SOCAR DE LOS SITIOS DE MONITOREO DE OXÍGENO DISUELTUO (OD) EN EL FONDO DURANTE LA ESTACIÓN HÚMEDA. LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). RANGOS DE EVALUACIÓN: BUENO CUANDO EL DO ES > 5 MG L-1; REGULAR CUANDO EL DO ES 2-5 MG L-1; Y POBRE CUANDO EL DO ESTÁ POR DEBAJO DEL LÍMITE FISIOLÓGICO DE 2 MG L-1. ....	93
FIGURA 3.7 EVALUACIÓN DE SOCAR DE LOS SITIOS DE MONITOREO DEL PH DURANTE LA ESTACIÓN HÚMEDA. LA NOMENCLATURA DE LOS SITIOS INDICA: SUBREGIÓN RGC, PAÍS/TERRITORIO, UNIDAD ADMINISTRATIVA DE PRIMER NIVEL (NÚMERO DE SITIOS EVALUADOS). RANGO ACEPTABLE: 6,5 A 8,5. ....	94
FIGURA 3.8 ÍNDICE DE NUTRIENTES DEL POTENCIAL DE EUTROFIZACIÓN COSTERA PARA LAS CUENCAS DE LA RGC A. LAS CUENCAS DE LA RGC RESUELTAS POR EL CONJUNTO DE DATOS GLOBAL NEWS V2 (N=261) FUERON EVALUADAS POR SU POTENCIAL DE CONVERTIRSE EN EUTRÓFICAS UTILIZANDO LOS FLUJOS DIARIOS DE N Y P. EL RECUADRO INCLUYE 105 CUENCAS CON POTENCIALES ICEP POSITIVOS. B. EL RECUADRO SE AMPLÍA PARA REVELAR 63 CUENCAS CON +N-ICEP MOSTRADAS EN CÍRCULOS AZULES (A LA DERECHA DEL EJE VERTICAL CERO, Y 85 CUENCAS CON +P-ICEP MOSTRADAS EN CUADRADOS ROJOS (SOBRE EL EJE HORIZONTAL CERO); Y 43 (SÍMBOLOS COMBINADOS) FUERON POSITIVAS PARA AMBOS ÍNDICES (CUADRANTE SUPERIOR DERECHO). EL 40% DE LAS CUENCAS RESUELTAS MOSTRARON UN POTENCIAL EUTRÓFICO POSITIVO DEBIDO A UN EXCESO DE FLUJOS DE NITRÓGENO O FÓSFORO EN EL AÑO 2000 DEL MODELO. ....	98
FIGURA 3.9 LOCALIZACIÓN DE LAS 63 CUENCAS DE LA RGC CON +N-ICEP (SEÑALADAS CON PUNTOS ROJOS EN EL MAPA ANTERIOR). LA TABLA DE LA IZQUIERDA IDENTIFICA CADA CUENCA CON EL NOMBRE DEL MODELO "NEWS" SEGUIDO DE UN ID NUMÉRICO, Y SU CORRESPONDIENTE RANGO N-ICEP. LA RECONCILIACIÓN DE LAS IDENTIFICACIONES NUMÉRICAS DE LAS CUENCAS CON LOS NOMBRES COMUNES DE LOS RÍOS SE HARÁ EN UNA INICIATIVA FUTURA]. DEBIDO A LA RESOLUCIÓN ESPACIAL DE 0,5 X 0,5 DEL MODELO NEWS, NO SE RESOLVIERON LAS CUENCAS DE LAS ISLAS MÁS PEQUEÑAS DE LA SUBREGIÓN IV DE LA RGC. LA CUENCA NEWS #1211 DE COLOMBIA ES LA QUE OCUPA EL PRIMER LUGAR EN CUANTO A POTENCIAL DE EUTROFIZACIÓN INDUCIDA POR EL N; LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO ES LA #18; LA CUENCA DEL RÍO MISSISSIPPI, LA #28; Y LA CUENCA DEL RÍO GRANDE ES LA ÚLTIMA, LA #63. EL AÑO DEL MODELO ES EL 2000. ....	101
FIGURA 3.10 DIAGRAMA CONCEPTUAL QUE MUESTRA LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN DE HABS COMO LAS FLORACIONES DE CIANOBACTERIAS Y DINOFITOPLANCTON, INCLUYENDO LAS CARGAS DE FERTILIZANTES QUE DOMINAN LOS FLUJOS DE NUTRIENTES TERRESTRES, EL CALENTAMIENTO, LA ACIDIFICACIÓN Y LA DESOXIGENACIÓN, TODOS LOS CUALES INFLUYEN EN LA DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN LA RGC (MODIFICADO DE GLIBERT (2020). ....	102
FIGURA 3.11 NÚMERO DE EVENTOS DE FAN EN LAS REGIONES ANCA (CARIBE Y AMÉRICA CENTRAL) Y FANSA (AMÉRICA DEL SUR) ANALIZADOS POR DÉCADA. (FUENTE: MÉNDEZ ET AL. 2018). ....	103
FIGURA 3.12 A. ORGANISMOS CAUSANTES DE LAS FAN. GÉNEROS TÓXICOS EN LAS REGIONES FANSA (B1) Y ANCA (B2); GÉNEROS NOCIVOS EN LAS REGIONES FANSA (C1) Y ANCA (C2); DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS ORGANISMOS CAUSANTES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. (FUENTE: MENDEZ ET AL. 2018) .....	104

FIGURA 3.13 SÍNDROMES CLÍNICOS DE TOXINAS NOTIFICADOS EN ALC. INTOXICACIÓN AMNÉSICA POR MARISCOS (ASP), INTOXICACIÓN PARALÍTICA POR MARISCOS (PSP), INTOXICACIÓN DIARREICA POR MARISCOS (DSP) Y INTOXICACIÓN CIGUATERA POR PECES (FUENTE: MÉNDEZ ET AL. 2018).	105
FIGURA 3.14 DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LOS FACTORES QUE CONTROLAN LA HIPOXIA. EL LADO IZQUIERDO INDICA LOS PROCESOS QUE AUMENTAN LAS CONDICIONES DE HIPOXIA, INCLUYENDO EL AUMENTO DE LAS PRECIPITACIONES, LOS ALTOS APORTES DE NUTRIENTES, LA REDUCCIÓN DE LA MEZCLA DEL AGUA, LA TEMPERATURA ELEVADA QUE AUMENTA LA RESPIRACIÓN Y LA REDUCCIÓN DE LA SOLUBILIDAD DEL OXÍGENO. EL LADO DERECHO MUESTRA LOS PROCESOS QUE ALIVIAN LA HIPOXIA, INCLUYENDO UNA MENOR PRECIPITACIÓN, LA REDUCCIÓN DE LOS APORTES DE NUTRIENTES Y LA FILTRACIÓN DE NUTRIENTES POR LA VEGETACIÓN. (FUENTE: KEMP ET AL. 2009).	106
FIGURA 3.15 SITIOS HIPÓXICOS Y EUTRÓFICOS CIENTÍFICAMENTE DOCUMENTADOS EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE (N=164) COMPILADOS POR DÍAZ ET AL. (2011) EN CÍRCULOS ABIERTOS DE COLOR NARANJA. LOS PUNTOS ROJOS SÓLIDOS INDICAN LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS CON CARGAS DE NUTRIENTES EVALUADAS EN ESTE INFORME COMO POSITIVAS PARA EL N-ICEP EN BASE A LOS RESULTADOS DEL MODELO PARA EL AÑO 2000 CON UNA RESOLUCIÓN ESPACIAL GRUESA DE 0,5 (MAYORGA ET AL. 2010) (VÉASE LA SECCIÓN 3.1.2). EL MODELO NEWS RESOLVIÓ LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS PAÍSES CONTINENTALES Y LAS ISLAS GRANDES DE LA SUBREGIÓN V DE LA RGC, PERO NO LAS ISLAS PEQUEÑAS DE LA SUBREGIÓN IV. ESTE INFORME ENCONTRÓ 37 SITIOS POSITIVOS AL N-ICEP FUERA DE LOS EE.UU.; EL INVENTARIO DE DIAZ ET AL. TENÍA 15 SITIOS EUTRÓFICOS E HIPÓXICOS FUERA DE LOS EE.UU.; POR LO TANTO, LA POSIBILIDAD DE QUE EXISTAN MÁS SITIOS HIPÓXICOS PERO AÚN NO DOCUMENTADOS SIGUE SIENDO ALTA. (SÓLO MAPA BORRADOR).	108
FIGURA 3.16 CÓMO LA HIPOXIA ALTERA EL FLUJO ENERGÉTICO DEL ECOSISTEMA. EL AUMENTO INICIAL DE LA BIOMASA DE FITOPLANCTON (VERDE) PROPORCIONA UN PLUS DE ENERGÍA GRANDE, PERO DE CORTA DURACIÓN PARA LOS DEPREDADORES MÓVILES. A MEDIDA QUE DISMINUYE EL OXÍGENO, AUMENTA LA PROPORCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA BENTÓNICA TRANSFERIDA A LOS MICROBIOS (NARANJA). LOS MICROBIOS PROCESAN LA MATERIA ORGÁNICA CON LA LIBERACIÓN DE H <sub>2</sub> S EN CONDICIONES ANÓXICAS. (FUENTE: DÍAZ Y ROSENBERG, 2008).	109
FIGURA 3.17 CAMBIOS EN PECES E INVERTEBRADOS A MEDIDA QUE EL OXÍGENO DISUELTO EN EL FONDO DEL MAR (BWDO) DISMINUYE DE 2 MG L-1 (HIPOXIA) A 0 MG L-1 (ANOXIA) (RABALAIS Y TURNER, 2019).	110
FIGURA 3.18 DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LAS INTERACCIONES DE LA RED TRÓFICA EN UN CICLO DIURNO QUE INCLUYE LA MIGRACIÓN VERTICAL DEL ZOOPLANCTON DURANTE LA NORMOXIA (A LA IZQUIERDA, CUANDO EL OXÍGENO ES ABUNDANTE (COLOR AZUL CLARO) Y ESTÁ POR ENCIMA DEL UMBRAL CRÍTICO DE OXÍGENO, ES DECIR, CUANDO LA RESPIRACIÓN SE VE LIMITADA POR EL SUMINISTRO DE OXÍGENO), LA HIPOXIA (EN EL CENTRO, CUANDO EL OXÍGENO ESTÁ POR ENCIMA DEL UMBRAL LETAL DE OXÍGENO PERO POR DEBAJO DEL UMBRAL CRÍTICO DE OXÍGENO) Y LA ANOXIA (A LA DERECHA, CUANDO EL OXÍGENO ESTÁ POR DEBAJO DEL UMBRAL LETAL DE OXÍGENO (COLOR MORADO). ESTOS UMBRALES DE OXÍGENO SON ESPECÍFICOS DE CADA ESPECIE Y DE CADA EDAD. CON LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO, SE REDUCE EL HÁBITAT PELÁGICO, SE TRUNCA LA MIGRACIÓN VERTICAL (INDICADA POR LA LONGITUD DE LAS FLECHAS HACIA ABAJO Y HACIA ARRIBA, UN AUMENTO DE LA ABUNDANCIA DE ZOOPLANCTON GELATINOSO Y UNA DISMINUCIÓN DE LA ABUNDANCIA DE PECES FORRAJEROS.	111
FIGURA 3.19 ESQUEMA QUE MUESTRA LA CRONOLOGÍA DE LA FORMACIÓN Y EL TRANSPORTE DE LA FLORACIÓN DE SARGAZO EN 2009-2011 HASTA EL PRESENTE. (FUENTE: JOHNS ET AL. 2020).	117
FIGURA 3.20 GRAVEDAD DE LOS VARAMIENTOS DE SARGAZO EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE BASADA EN LAS RESPUESTAS A LA ENCUESTA DE 22 PUNTOS FOCALES NACIONALES, OBSERVACIONES POR SATÉLITE Y BÚSQUEDAS EN LÍNEA. (FUENTE: PNUMA CAR/UCR, 2018).	119
FIGURA 3.21 PORCENTAJE DE TERRITORIOS EN LOS QUE LA ECOLOGÍA Y LOS SECTORES ECONÓMICOS SE HAN VISTO AFECTADOS NEGATIVAMENTE POR LAS FLORACIONES DE SARGAZO (A); Y EN LOS QUE SE HAN PRODUCIDO IMPACTOS EN EL ECOSISTEMA COMO CONSECUENCIA DE LOS VARAMIENTOS (B). TAMAÑO DE LA MUESTRA DE LA ENCUESTA, N = 28 TERRITORIOS. (FUENTE: UNEP CAR/RCU, 2018).	119
FIGURA 3.22 DIAGRAMA CONCEPTUAL QUE MUESTRA CÓMO LOS HUÉSPEDES INTERMEDIOS DE ENFERMEDADES Y LOS VECTORES Y PATÓGENOS PUEDEN RESPONDER POSITIVAMENTE AL ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES EN EL MEDIO AMBIENTE. (FUENTE: MCKENZIE Y TOWNSEND, 2007).	124
FIGURA 3.23 INTERACCIONES ENTRE EL CLIMA Y LOS CAMBIOS INDUCIDOS POR LA CONTAMINACIÓN DE NUTRIENTES (RABALAIS Y TURNER 2019). LAS INTERACCIONES POSITIVAS (+) INDICAN LOS PROCESOS O PARÁMETROS QUE AUMENTARÁN; LAS INTERACCIONES NEGATIVAS (-) MUESTRAN LOS QUE DISMINUIRÁN. LAS LÍNEAS DISCONTINUAS MUESTRAN EL PROCESO DE RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA QUE PUEDE AMORTIGUAR LA PRODUCCIÓN AUMENTADA POR LOS NUTRIENTES Y LA HIPOXIA RESULTANTE. LA LÍNEA DE PUNTOS ENTRE LAS ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO INDICA QUE EL SER HUMANO ES EL PRINCIPAL IMPULSOR DEL CAMBIO CLIMÁTICO CONTEMPORÁNEO, Y QUE EL CAMBIO CLIMÁTICO TENDRÁ CONSECUENCIAS QUE AFECTARÁN GRAVEMENTE A LAS ACTIVIDADES HUMANAS. (FUENTE: RABALAIS Y TURNER, 2019).	127

FIGURA 4.1 PROPORCIÓN DE PAÍSES COMPROMETIDOS CON LOS AMUMA DE RELEVANCIA PARA LOS NUTRIENTES (PREPARADO POR UCR/CAR PNUMA).....	132
FIGURA 4.2 PORCENTAJE DE PAÍSES Y TERRITORIOS DEL CLME+ QUE RESPONDEN Y QUE CUENTAN CON INSTRUMENTOS DE GOBERNANZA PARA LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN TERRESTRE (FANNING Y MAHON, 2020). .....	135
FIGURA 4.3 INFORMACIÓN SOBRE LOS SECTORES ESPECÍFICOS A LOS QUE SE DIRIGEN LAS POLÍTICAS, LEYES Y PLANES DE CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN 12 PAÍSES Y TERRITORIOS DE HABLA INGLESA Y FRANCESA. ....	135
FIGURA 4.4 NIVEL DE ESFUERZO ENTRE LOS PAÍSES DEL CLME+ PARA REDUCIR EL ESTRÉS DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN TERRESTRE (FANNING Y MAHON, 2020). .....	136
FIGURA 4.5 INVERSIONES REALIZADAS POR EMPRESAS PRIVADAS EN SANEAMIENTO EN BRASIL (MILES DE MILLONES DE \$BRL / AÑO). FUENTE: CERI/FGV (2016). .....	147
FIGURA 5.1 VISIÓN GENERAL SIMPLIFICADA DE LOS FLUJOS DE NITRÓGENO (N) Y FÓSFORO (P) QUE DESTACA LAS PRINCIPALES FUENTES ANTROPOGÉNICAS ACTUALES, LA CASCADA DE FORMAS DE NITRÓGENO REACTIVO (Nr) Y LAS PREOCUPACIONES AMBIENTALES ASOCIADAS (SUTTON ET AL., 2013). NOTA: ESTE GRÁFICO NO INCLUYE LAS FUENTES MARINAS DE CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES. ....	154
FIGURA 5.2 UNA UNIDAD DE CUENCA HIDROGRÁFICA INCLUYE LA TIERRA Y LA RED DE ARROYOS Y RÍOS QUE DRENA. ESTÁ DELIMITADA POR UNA DIVISORIA DE AGUAS, QUE ES LA FORMACIÓN DE TIERRA CON LA MAYOR ELEVACIÓN DE LA QUE PROCEDEN LAS CABECERAS. TAMBIÉN SE INCLUYEN LAS FUENTES PUNTUALES Y NO PUNTUALES DE NUTRIENTES QUE LLEGAN A LOS ESTUARIOS Y A LAS AGUAS COSTERAS. (FUENTE: WURTSBAUGH ET AL. 2019) .....	155
FIGURA 5.3 USO DE LA TIERRA EN LOS PAÍSES DEL RGC EN EL AÑO 2000 (DATOS DE HYDROATLAS, LINKE ET AL. 2019). EL PORCENTAJE DE COBERTURA ES A ESCALA SUBREGIONAL. LA COBERTURA FORESTAL SIGUE UNA ESCALA DE VERDE CLARO A OSCURO; LAS TIERRAS DE CULTIVO, UNA ESCALA AMARILLO-NARANJA, Y LOS PASTOS, UNA ESCALA DE MARRÓN CLARO A OSCURO. LA SUBREGIÓN III COMBINA EL NORTE DE BRASIL CON LOS PAÍSES DE LA SUBREGIÓN III. ....	159
FIGURA 5.4 USO DE PLAGUICIDAS EN LOS PAÍSES DE LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE DURANTE EL PERÍODO 1990-2015. FUENTE DE DATOS: ESTADÍSTICAS DE LA FAO SOBRE EL USO DE PLAGUICIDAS EN LA AGRICULTURA, 1990-2018. ....	162
FIGURA 5.5 CARGAS MODELADAS DE N TOTAL (A) Y P TOTAL (B) PARA LOS AÑOS DEL MODELO 1900 A 2000, LAS CARGAS DE NUTRIENTES SON CANTIDADES ESTIMADAS DE LO QUE LLEGA A LA DESEMBOCADURA DEL RÍO Y SON NETAS DE LA RETENCIÓN EN LA DESEMBOCADURA. LOS GRÁFICOS DE LÍNEAS SE REFIEREN A REGIONES INDIVIDUALES O AL TOTAL DE LAS SUBREGIONES I A V COMBINADAS. LAS CARGAS A LO LARGO DEL TIEMPO PARA LAS CUENCAS DEL NORTE DE BRASIL MUESTRAN UNA PENDIENTE HORIZONTAL DEBIDO A LA CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN CON VEGETACIÓN Y DE LOS BOSQUES PARA CICLAR LOS NUTRIENTES DE FORMA AJUSTADA DENTRO DEL BIOMA FORESTAL. PARA LA REGIÓN, EXCEPTO EN BRASIL, EL NITRÓGENO TOTAL CASI SE DUPLICÓ EN UN SIGLO. EN EL CASO DEL FÓSFORO, SE PRODUJO UN AUMENTO DEL 40% EN EL MISMO PERIODO DE TIEMPO. ....	165
FIGURA 5.6 PUERTOS DE CRUCEROS EN EL GRAN CARIBE. NO SE INCLUYEN LOS PUERTOS DE ESTADOS UNIDOS Y BRASIL (DIRECCIÓN DE TURISMO SOSTENIBLE DE LA AEC, 2016).....	166
FIGURA 5.7 INFORME DEL AÑO 2020 DE 18 LÍNEAS DE CRUCEROS EVALUADAS POR LOS AMIGOS DE LA TIERRA, ACOMPAÑADO DE LOS DETALLES DISPONIBLES EN EL SITIO WEB DE LA FOE. (FUENTE: <a href="https://foe.org/projects/cruise-ships/?issue=335">HTTPS://FOE.ORG/PROJECTS/CRUISE-SHIPS/?ISSUE=335</a> ).....	167
FIGURA 5.8 LAS FORMAS INORGÁNICAS DISUELTAS DE NITRÓGENO (DIN) Y FÓSFORO (DIP) SON LAS FORMAS DE NUTRIENTES MÁS BIOLÓGICAMENTE REACTIVAS, YA QUE SE UTILIZAN PARA SINTETIZAR LA BIOMASA VEGETAL. LAS ESTIMACIONES DEL MODELO UTILIZANDO EL GLOBAL NEWS MODEL 2 PROPORCIONAN VALORES A ESCALA DE CUENCA QUE SE AGREGAN AQUÍ POR SUBREGIONES. LOS CÍRCULOS ABIERTOS DE COLOR NARANJA SON LUGARES EUTRÓFICOS DOCUMENTADOS CIENTÍFICAMENTE (ES DECIR, QUE EL N O EL P, O AMBOS, SUPERAN LOS REQUISITOS DE SÍLICE DE LAS DIATOMEAS) QUE TAMBIÉN SON HIPÓXICOS (ES DECIR, QUE EL OXÍGENO DISUELTU EN EL FONDO ES IGUAL AL LÍMITE FISIOLÓGICO DE 2 MG/L DE O <sub>2</sub> ) (N=164, DÍAZ ET AL. 2011), Y LOS CÍRCULOS RELLENOS DE COLOR ROJO SON DESEMBOCADURAS DE RÍOS QUE SE HAN EVALUADO EN ESTE INFORME COMO CON UN POTENCIAL POSITIVO PARA CONVERTIRSE EN EUTRÓFICOS. ....	168
FIGURA 5.9 NÚMERO DE EVENTOS DE FAN EN LAS REGIONES FANCA (CARIBE Y CENTROAMÉRICA) Y FANSA (SUDAMÉRICA) ANALIZADOS POR DÉCADA. (FUENTE: MÉNDEZ ET AL. 2018). ....	169
FIGURA 5.10 ORGANISMOS CAUSANTES DE LAS FAN (FUENTE: MÉNDEZ ET AL. 2018). ....	170
FIGURA 5.11 TAMAÑO DE LA ZONA HIPÓXICA DEL GOLFO DE MÉXICO DE 1985 A 2019. EL OBJETIVO ES REDUCIR LA ZONA A MENOS DE 2000 MI <sup>2</sup> O 5000 KM <sup>2</sup> . (FUENTE: <a href="https://www.noaa.gov/media-release/large-dead-zone-measured-in-gulf-of-mexico">HTTPS://WWW.NOAA.GOV/MEDIA-RELEASE/LARGE-DEAD-ZONE-MEASURED-IN-GULF-OF-MEXICO</a> , LUMCON/LSU) .....	171
FIGURA 5.12 PERFIL DE LA COSTA DEL CARIBE MEXICANO QUE MUESTRA LAS ZONAS COSTERAS IMPACTADAS, INCLUYENDO ARRECIFES DE CORAL, PRADERAS MARINAS, MANGLARES Y RÍOS SUBTERRÁNEOS. (FUENTE: CHAVEZ ET AL. 2020) .....	172

FIGURA 5.13 TEN KEY ACTION AREAS TO ADDRESS THE NUTRIENT CHALLENGE, SUTTON ET AL., 2013 (PREPARADO POR GRID-ARENDAL PARA EL PROYECTO FMAM/UNEP GLOBAL NUTRIENT CYCLE). .....	174
FIGURA 5.14 ESTRUCTURA DE LA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES DE LA RGC QUE MUESTRA LOS NUEVE PILARES Y LOS OBJETIVOS ASOCIADOS. VÉASE EL TEXTO PARA MÁS DETALLES.....	175
FIGURA 5.15 UN CICLO POLÍTICO GENÉRICO (IZQUIERDA) Y EL COMPONENTE MULTIESCALA (DERECHA) DEL MARCO DE GOBERNANZA PROPUESTO CON VÍNCULOS VERTICALES Y HORIZONTALES ENTRE LOS DIFERENTES CICLOS POLÍTICOS (FANNING ET AL., 2007).....	203
FIGURA 5.16 LA DIVERSIDAD DE PARTES INTERESADAS Y ACTIVIDADES ASOCIADAS A CADA ETAPA DEL CICLO POLÍTICO (ADAPTADO DE FANNING ET AL., 2007) .....	204

## TABLAS

TABLA 2.1 ORGANIZACIÓN DE DATOS A ESCALA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN EL NPRSAP PARA LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE. ....	35
TABLA 2.2 CAMBIOS EN LAS ÁREAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES (KM 2) ENTRE LOS PAÍSES Y TERRITORIOS DE LA RGC. SE REALIZA UN SEGUIMIENTO DE LOS CAMBIOS EN LAS TIERRAS DE CULTIVO Y LOS PASTOS DESDE 1961 HASTA 2018; EL DE LOS BOSQUES CUBREN UN PERÍODO MÁS CORTO DE 1990 A 2019 (DATOS DE ENTRADA: FAOSTA T). VALORES EN ROJO (PARÉNTESIS) INDICAN PÉRDIDAS. ....	39
TABLA 2.3 ÁREAS DE BOSQUES, TIERRAS DE CULTIVO, PASTIZALES Y EXTENSIONES URBANAS COMO PORCENTAJE DEL ÁREA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS QUE DRENAN LA RGC EN CADA PAÍS Y TERRITORIO DE LA BASE DE DATOS RNPRSAP, QUE ES UNA COMPILACIÓN DE DATOS ESPACIALES DERIVADOS DE HYDROATLAS (LINKE ET AL. 2019). LAS ISLAS CON RESALTADO NARANJA INDICAN AQUELLAS CON SUPERFICIES IMPERMEABLES MÁS ALLÁ DEL UMBRAL DEL 10%. LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS INDIVIDUALES EN RIESGO PUEDEN IDENTIFICARSE UTILIZANDO ESTE INDICADOR Y COMPLEMENTARSE CON DATOS EMPÍRICOS O MODELADOS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA. ALGUNOS PAÍSES TIENEN PORCENTAJES TOTALES QUE SUPERAN EL 100%, LO QUE REFLEJA ESTIMACIONES SUPERPUESTAS DE ESTAS CARACTERÍSTICAS DE LA TIERRA, CADA UNA DE LAS CUALES ESTÁ RESPALDADA POR UN PRODUCTO DE DATOS QUE SE PROCESÓ PARA CREAR UNA BASE DE DATOS MUNDIAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS ARMONIZADA E INTERNAMENTE COHERENTE. ....	42
TABLA 2.4 LA ESCORRENTÍA DE P TANTO DE LAS TIERRAS DE CULTIVO COMO DE LOS PASTIZALES Y LA ESCORRENTÍA DE N DE LAS TIERRAS DE CULTIVO SE ESTIMAN PARA LA CUENCA DE LA RGC AGREGADA A ESCALA SUBREGIONAL. LAS ESTIMACIONES DE EXCEDENTE DE N SE BASAN EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO, DE MODO QUE NO SE ABORDE LA ESCORRENTÍA DE N DE LOS PASTIZALES. ....	48
TABLA 2.5 TASAS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS ENTRE LOS ESTADOS CONTINENTALES E INSULARES DE LA RGC. SE DESTACAN ENTRE LAS TASAS MÁS ALTAS DE PLAGUICIDAS REPORTADAS EN EL MUNDO, CON CINCO PAÍSES DE LA REGIÓN QUE PERMANECIERON ENTRE LOS 10 PRINCIPALES USUARIOS DE PLAGUICIDAS POR HECTÁREA DE TIERRA DE CULTIVO EN 2018 (ESTADÍSTICAS DE LA FAO SOBRE EL USO DE PLAGUICIDAS EN LA AGRICULTURA, 1990-2018). LA ÚLTIMA COLUMNA DE ESTA TABLA PROPORCIONA ESTIMACIONES DEL TOTAL DE PLAGUICIDAS EN TONELADAS PARA TIERRAS DE CULTIVO EN LA RGC DRENANDO CUENCAS DE LA REGIÓN PARA EL AÑO 2000. ....	52
TABLA 2.6 ESTIMACIONES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS AGREGADAS A LAS SUBREGIONES DE RGC. LA COBERTURA DE DATOS ES DEL 99% DE LA POBLACIÓN TOTAL DE LA CUENCA. [NOTA: LOS DATOS PARA EL NORTE DE BRASIL SE HAN CORREGIDO PARA INCLUIR TODAS LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS QUE DRENAN AL GRAN ECOSISTEMA MARINO DE LA PLATAFORMA NORTE DE BRASIL (NBS LME), INCLUIDA LA AMAZONÍA LEGAL DE BRASIL]. ....	55
TABLA 2.7 UN RESUMEN A ESCALA SUBREGIONAL DE LA CARGA DE CONTAMINANTES INDUSTRIALES EN LA RGC PARA EL PERÍODO 1997 A 2008 (PAC 2010). ....	57
TABLA 2.8 FLUJOS DE AMONÍACO DE FUENTES PUNTUALES EN LA RGC PARA EL PERÍODO 2008 A 2018 (DATOS DE ENTRADA: VAN DAMME ET AL. 2018). ....	59
TABLA 2.9 FUENTES DE CARGAS DE NITRÓGENO (EN 1000 TONELADAS DE N) PARA LAS SUBREGIONES I A V DE LA RGC, EXCLUYENDO EL LME DEL NORTE DE BRASIL, Y QUE SE MUESTRAN POR SEPARADO. LOS VALORES Y PORCENTAJES SE REFIEREN A LAS REGIONES EN LA COLUMNA 1. (DATOS DE ENTRADA: BEUSEN ET AL. 2016.) ....	63
TABLA 2.10 FUENTES DE CARGAS DE FÓSFORO (1000 TONELADAS EN EL AÑO MODELO 2000 PARA LAS SUBREGIONES I A V DE LA RGC, EXCLUYENDO EL LME DE LA PLATAFORMA NORTE DE BRASIL (NBS), QUE SE MUESTRA POR SEPARADO (DATOS DE ENTRADA: BEUSEN ET AL., 2016). ....	63
TABLA 2.11 FLUJOS DE DESECHOS GENERADOS POR CRUCEROS (US EPA 2008). ....	69
TABLA 2.12 CONCENTRACIONES MEDIDAS DE COMPONENTES ENCONTRADOS EN BIOSÓLIDOS GENERADOS POR CRUCEROS Y ESTADÍSTICAS ASOCIADAS (MEDIA, DESVIACIÓN ESTÁNDAR (SD), VALOR MÁXIMO (MAX), VALOR MÍNIMO (MIN), MEDIA GEOMÉTRICA (GM), DESVIACIÓN ESTÁNDAR GEOMÉTRICA (GSD) Y NÚMERO DE MUESTRAS (NS). (FUENTE: AVELLANEDA ET AL.2011).....	73
TABLA 2.13 INDICADORES DE RIESGO RELATIVO PARA LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN (FUENTE: AVELLANEDA ET AL. 2011). ....	74
TABLA 2.14 DISTRIBUCIÓN DE PUERTOS DEPORTIVOS Y CAPACIDAD DE ATRAQUE EN EL CARIBE INSULAR PARA EL AÑO 2015. (FUENTE: BIRKHOFF, 2015). ....	76
TABLA 2.15 UNA COMPARACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN ECONÓMICA POR SECTOR TURÍSTICO (HONEY 2016). ....	77
TABLA 2.16 CLASIFICACIÓN DE LOS PUERTOS DEL CARIBE EN FUNCIÓN DE LAS FUNCIONES QUE DESEMPEÑAN DENTRO DE LA RED NAVIERA MUNDIAL (PINNOCK Y AJAGUNNA 2012). ....	81
TABLA 2.17 ESTIMACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS POR LOS BARCOS EN EL NORTE DEL MAR DE BERING DESDE EL 1 DE JUNIO HASTA EL 31 DE OCTUBRE DE 2014-2017 (PARKS ET AL.2019). ....	82

TABLA 2.18 ESTIMACIONES DE AGUAS GRISES GENERADAS POR EMBARCACIONES EN EL NORTE DEL MAR DE BERING DESDE EL 1 DE JUNIO HASTA EL 31 DE OCTUBRE (2014-2017) (PARKS ET AL.2019).	82
TABLA 2.19 CARGAS ANUALES ESTIMADAS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DE DESECHOS DE ALIMENTOS CON ALTO CONTENIDO DE NUTRIENTES GENERADOS A BORDO DE BUQUES DE CARGA EN EL MAR BÁLTICO (BIEN ET AL. 2016).	83
TABLA 2.20 CARGAS ANUALES ESTIMADAS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DE LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS GENERADAS A BORDO DE BUQUES DE CARGA EN EL MAR BÁLTICO (BIEN ET AL. 2016). SUPUESTOS: EXCRECIÓN DE 15 GN / PERSONA-DÍA Y 5 GP / PERSONA-DÍA (HÄNNINEN Y SASSI, 2009).	83
TABLA 3.1 ZONAS HIPÓXICAS REPORTADAS EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE (FUENTE DE DATOS: DÍAZ ET AL. 2011, <a href="https://www.wri.org/resources/data-sets/eutrophication-hypoxia-map-data-set">HTTPS://WWW.WRI.ORG/RESOURCES/DATA-SETS/EUTROPHICATION-HYPOXIA-MAP-DATA-SET</a> ).	107
TABLA 3.2 IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LOS LUGARES DE ESTUDIO EN LOS ARRECIFES DE CORAL Y LAS PRADERAS MARINAS EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE, SEGÚN LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE 2009.	113
TABLA 3.3 EVALUACIONES POSTERIORES A 2014 DEL ESTADO DE LOS ARRECIFES DE CORAL Y LAS PRADERAS MARINAS, INCLUYENDO REVISIONES DE LOS FACTORES QUE CONTROLAN LA DOMINANCIA DE LAS MACROALGAS Y LA RESILIENCIA DE LOS ARRECIFES DE CORAL EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE.	114
TABLA 3.4 COSTES EXTERNOS DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LOS SISTEMAS DE AGUA DULCE (US EPA 2015). NO ES POSIBLE REALIZAR UN CÁLCULO TOTAL DE LOS COSTES, YA QUE LAS ESTIMACIONES PROCEDEN DE FUENTES DISPARES CON LUGARES DE DIFERENTE ESCALA ESPACIAL Y COBERTURA TEMPORAL.	125
TABLA 3.5 RESUMEN DE LOS EFECTOS ECONÓMICOS DE LAS FAN EN ESTADOS UNIDOS (MILLONES DE DÓLARES DEL AÑO 2000) (HOAGLAND ET AL 2002). ESTE INFORME ACTUALIZA LOS COSTES TOTALES A 2021 USD.	125
TABLA 3.6 RESUMEN DE LOS EFECTOS ECONÓMICOS DE LA MOLESTA FLORACIÓN DE SARGAZO. NO SE HA REALIZADO UN CÁLCULO COMPLETO DE LOS DAÑOS EN NINGUNO DE LOS LUGARES AFECTADOS EN LA RGC.	126
TABLA 4.1 INSTRUMENTOS DE GOBERNANZA REGIONALES Y SUBREGIONALES PARA ABORDAR LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN TERRESTRES Y MARINAS (FANNING Y MAHON, 2020). NR: SIN RESPUESTA.	133
TABLA 4.2 PROPORCIÓN (%) DE LOS 12 PAÍSES/TERRITORIOS DE HABLA INGLESA CON PROGRAMAS, NORMAS Y CRITERIOS PARA LA GESTIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES (IMA, 2020).	138
TABLA 4.3 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS Y MATRICES QUE SE CONTROLAN PARA DETECTAR LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LOS 12 PAÍSES/TERRITORIOS ANGLÓFONOS Y FRANCÓFONOS QUE RESPONDIERON (LOS VALORES SON PORCENTAJES. NR: SIN RESPUESTA) (IMA, 2020).	143
TABLA 5.1 ORGANIZACIÓN DE LOS DATOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA BASE DE DATOS DEL RNPRSAP PARA LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE.	156
TABLA 5.2 CAMBIOS EN LAS ÁREAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES (KM <sup>2</sup> ) ENTRE LOS PAÍSES Y TERRITORIOS DE LA REGIÓN DEL CARIBE. LOS CAMBIOS EN LAS TIERRAS DE CULTIVO Y LOS PASTOS SE RASTREAN DESDE 1961 HASTA 2018; EL DE LOS BOSQUES ABARCA UN PERÍODO MÁS CORTO, DESDE 1990 HASTA 2019. (DATOS DE ENTRADA: FAOSTAT). LOS VALORES EN ROJO DENTRO (PARÉNTESIS) SON PÉRDIDAS.	157
TABLA 5.3 USO CONTEMPORÁNEO DE LA TIERRA INCLUYENDO EXTENSIONES URBANAS (DATOS PROCESADOS DE HYDROATLAS, LINKE ET AL. 2019).	160
TABLA 5.4 EL EXCESO DE FLUJOS DE NITRÓGENO (N) Y FÓSFORO (P) SE GENERÓ PORQUE LAS TIERRAS DE CULTIVO SÓLO TENÍAN UN 60% DE EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE LOS FERTILIZANTES DE N Y P. LOS PASTOS, QUE NO ESTABAN FERTILIZADOS, APORTARON EL 15% DEL TOTAL DE LOS FLUJOS DE EXCESO DE P PROCEDENTES DEL ESTIÉRCOL DEL GANADO, YA QUE SE SUPUSO QUE NO ESTABAN FERTILIZADOS COMO LAS TIERRAS DE CULTIVO.	162
TABLA 5.5 ESTIMACIONES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS NO TRATADAS QUE CONTRIBUYEN A LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES. SE UTILIZARON LAS POBLACIONES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS PARA 2010 EN LA BASE DE DATOS RNPRSAP PARA ESCALAR LOS CÁLCULOS, CUYOS MÉTODOS SE DETALLAN EN EL ANEXO 4.1 DE SOCAR (PNUMA-PAC, 2019).	163
TABLA 5.6 ESTIMACIONES DE LAS FUENTES DE NITRÓGENO COMO NITRÓGENO TOTAL (NT = FORMAS DISUELTAS Y PARTICULADAS) UTILIZANDO EL MODELO DE BEUSEN ET AL. (2015, 2016).	164
TABLA 5.7 ESTIMACIONES DE LAS FUENTES DE FÓSFORO COMO FÓSFORO TOTAL (PT = FORMAS DISUELTAS Y PARTICULADAS) (BEUSEN ET AL. 2015, 2016).	164
TABLA 5.8 FLUJOS DE RESIDUOS GENERADOS POR LOS CRUCEROS (US EPA 2008).	166
TABLA 5.9 OBJETIVOS Y METAS DE LOS ODS PARA LOS PILARES 1 A 8.	177
TABLA 5.10 PRESUPUESTO DE N Y NUE EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS PARA BRASIL Y ALC (SIN BRASIL) EN 2010 Y PROYECTADO PARA 2050 (ZHANG ET AL. 2015).	179
TABLA 5.11 OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LA GESTIÓN DE NUTRIENTES.	180

TABLA 5.12 PÉRDIDAS DE N Y P A LOS CURSOS DE AGUA DULCE PROCEDENTES DEL ESTIÉRCOL ANIMAL EN TIERRAS DE CULTIVO Y PASTOS, EN MILES DE TONELADAS (VALORES REDONDEADOS) (FAO E IWMI, 2018).	183
TABLA 5.13 . OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LOS PROCESOS QUE PROMUEVEN LA TRANSMISIÓN DE NUTRIENTES A LOS SISTEMAS ACUÁTICOS DESDE FUENTES NO PUNTUALES.	185
TABLA 5.14. OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LA ESCORRENTÍA URBANA/PLUVIAL	187
TABLA 5.15 OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.	189
TABLA 5.16 OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.	192
TABLA 5.17 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL DIN Y EL DIP EN ENTORNOS CONTINENTALES E INSULARES (PNUMA-PAC, 2019).	196
TABLA 5.18 LÍMITES DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA CLOROFILA A (CHL A) EN ENTORNOS CONTINENTALES E INSULARES Y PARA EL OXÍGENO DISUELTO EN EL FONDO (OD).	196
TABLA 5.19 OBJETIVOS E INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA COSTERA.	197
TABLA 5.20 OBJETIVOS E INDICADORES PARA LOS HÁBITATS COSTEROS Y MARINOS.	199
TABLA 5.21 OBJETIVOS E INDICADORES RELACIONADOS CON LOS IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA SALUD HUMANA.	200
TABLA 5.22 MARCO DE ACCIÓN (2021-2030)	215

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACP	Estados de África, el Caribe y el Pacífico
AIS	Sistema de identificación automática
AMUMA	Acuerdo multilateral sobre el medio ambiente
ANCA	Algas Nocivas en el Caribe y Regiones Adyacentes
AORC	Análisis de Oportunidades de Reducción de la Contaminación
ASP	Intoxicación amnésica por marisco
ATO	Atlántico tropical occidental
AWTS	Sistema avanzado de tratamiento de aguas residuales
BOHESI	Iniciativa de salud y seguridad en el trabajo para los plátanos
BPAS	Mejores prácticas medioambientales
CAFO	Operación de alimentación concentrada de animales
CAR	Centro de Actividades Regionales
CAR RCU	Unidad de Coordinación Regional del Caribe (PNUMA)
CARICOM	Comunidad del Caribe
CARPHA	Agencia de Salud Pública del Caribe
CBD	Convenio sobre la Diversidad Biológica
CC	Corriente canaria
CEN	Corriente Ecuatorial del Norte
CEPAL	Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe
CEP MdE	Control del Estado del Puerto-Memorando de Entendimiento
CERMES	Centro de Gestión de Recursos y Estudios Ambientales
CFP	Intoxicación por ciguatera
Chl-a	Clorofila a
CIMAB	Centro de Investigación y Gestión Ambiental del Transporte
CIN	Comité Interministerial Nacional
CLME+	Catalizar la aplicación del Programa de Acción Estratégica para la gestión sostenible de los recursos marinos vivos compartidos en los grandes ecosistemas marinos del Caribe y la plataforma del norte de Brasil
COCI	Comité Asesor Científico y Técnico
COI	Comisión Oceanográfica Intergubernamental (UNESCO)
COPs	Contaminantes Orgánicos Persistentes
CP	Conferencia de las Partes
CReW	Fondo Regional del Caribe para la Gestión de las Aguas Residuales
CRFM	Mecanismo Regional de Pesca del Caribe
CRIFECM	Centro regional de información y formación para emergencias de contaminación marina en el Gran Caribe
DDT	dicloro-difenil-tricloroetano
DPSIR	Marco conductor-presión-estado-impacto-respuesta
DSA	Grado de actividad del buque
DSM	Dispositivo de saneamiento marino
DSP	Intoxicación diarreica por marisco
ECCU	Unión Monetaria del Caribe Oriental
EE.UU.	Estados Unidos de América
EHSD	Departamento de Salud Ambiental y Desarrollo Sostenible (CARPHA)

ENNA	Entradas netas de nitrógeno antropogénico
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente (EE.UU.)
ERRCNPA	Estrategia regional de reducción de la contaminación por nutrientes y plan de acción
EUN	Eficiencia en el Uso del Nitrógeno
EUP	Eficiencia en el uso del fósforo
FAN	Floraciones de algas nocivas
FANSA	Floraciones Algales Nocivas en Sudamérica (Red)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FID	Fósforo inorgánico disuelto
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
FOD	Fósforo orgánico disuelto
FOE	Amigos de la Tierra
FT	Fósforo total
GCFI	Instituto de Pesca del Golfo y el Caribe
GDM	Golfo de México
GEAF	Marco de evaluación de la eficacia de la gobernanza
GEM	Gran Ecosistema Marino
GESAMP	Grupo de expertos sobre los aspectos científicos de la protección del medio ambiente marino
GIRH	Gestión integrada de los recursos hídricos
GNC	Proyecto Global de Ciclado de Nutrientes
GNM	Modelo global de nutrientes
GO2NE	Red mundial de oxígeno oceánico
GPNM	Asociación Mundial para la Gestión de los Nutrientes
GPS	Sistema de posicionamiento global
HAB	Floraciones de algas dañinas
HAEDAT	Base de datos de eventos de algas nocivas
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
HTF	Grupo de trabajo sobre la hipoxia
IASI	Interferómetro de Sondeo Atmosférico Infrarrojo
ICM	Mecanismo de coordinación provisional
IDH	Índice de Desarrollo Humano
IECAR	Informe sobre el estado del área del Convenio de Cartagena
IGSN	Índice de gestión sostenible del nitrógeno
IIS	Informe sobre la inundación de sargazos
IMA	Instituto de Asuntos Marítimos
IMAGE-GNM	Modelo integrado para evaluar el medio ambiente global - Modelo global de nutrientes
INI	Iniciativa internacional sobre el nitrógeno
INMS	Sistema Internacional de Gestión del Nitrógeno
INVEMAR	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
IOCARIBE	Subcomisión del COI para el Caribe y Regiones Adyacentes
IODE	Intercambio internacional de datos e información oceanográficos
IPEC	Índice de potencial de eutrofización costera
IPM	Intoxicación paralítica por mariscos
IWCAM	Integración de la gestión de cuencas hidrográficas y zonas costeras en los pequeños Estados insulares en desarrollo del Caribe

IWEco	Integración de la gestión del agua, la tierra y los ecosistemas en los pequeños Estados insulares en desarrollo del Caribe
IWLEARN	Red internacional de intercambio y recursos para el aprendizaje de las aguas
JCEF	Línea de crédito de Jamaica
K	Potasio
LAC	América Latina y el Caribe
LBS	Fuentes terrestres
MAR	Arrecife Mesoamericano
MAR2R	Proyecto de gestión integrada de la cresta al arrecife de la ecorregión del Arrecife Mesoamericano
MARB	Cuenca del río Mississippi-Atchafalaya
MARPOL	Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques
MGAP	Modelo de gestión de aguas pluviales
MPG	Mejores prácticas de gestión
MRB	Cuenca del río Mississippi
N	Nitrogeno
N-ICEP	Índice de nitrógeno del potencial de eutrofización de las costas
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (EE.UU.)
NBS LME	Gran Ecosistema Marino de la Plataforma Norte de Brasil
NEO	Nivel de estrés de oxígeno
NEWS 2	Exportación de nutrientes de las cuencas hidrográficas 2
NID	Nitrógeno inorgánico disuelto
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (EE.UU.)
NOD	Nitrógeno orgánico disuelto
NOx	Óxidos de Nitrógeno
NPDES	Sistema Nacional de Eliminación de Vertidos Contaminantes
Nr	Nitrógeno reactivo
NT	Nitrógeno total
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
NWC	Comisión Nacional del Agua (Jamaica)
OD	Oxígeno disuelto
ODFM	Oxígeno disuelto en el fondo del mar
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
OE	Objetivo estratégico
OECO	Organización de Estados del Caribe Oriental
OI	Organización intergubernamental
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización No Gubernamental
OPRC	Convenio internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OTCA	Organización del Tratado de Cooperación Amazónica
P	Fósforo
P-ICEP	Índice de fósforo del potencial de eutrofización costera
PAC	Programa Ambiental del Caribe
PAE	Programa de Acción Estratégica

PAM	Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades en Tierra
PCB	Bifenilos policlorados
PCR-GLOBWB	PC Raster Balance global del agua
PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PSE	Pago por Servicios Ecosistémicos
pH	Potencial del hidrógeno
PREPCar	Proyecto de reducción de la escorrentía de plaguicidas al mar Caribe
RAN	Red de actividades regionales
RGC	Región del Gran Caribe
SAMOA	Modalidades de acción acelerada de los PEID
Si	Sílice
SICA/CCAD	Sistema de Integración Centroamericana/Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo
SIDS	Pequeños Estados Insulares en Desarrollo
SOLAS	Seguridad de la vida en el mar
SOMEE	Estado del medio ambiente marino y de las economías asociadas
SPAW	Protocolo sobre áreas y flora y fauna silvestres especialmente protegidas
SST	Sólidos suspendidos totales
Tg	Teragramo; 1 Tg = 10 <sup>12</sup> gramos = millones de toneladas
TMDL	Carga máxima diaria total
TWAP	Programa de evaluación de las aguas transfronterizas
UE	Unión Europea
UNCCD	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación
UNEA	Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UWI	Universidad de las Indias Occidentales
ZCIT	Zona de convergencia intertropical
ZEE	Zona Económica Exclusiva

## ANEXOS

Anexo 3.1	Cuencas hidrográficas de la Región del Gran Caribe.
Anexo 3.2	Cuencas hidrográficas transfronterizas de la Región del Gran Caribe.
Anexo 3.3	Informes sobre la inundación costera por sargazo: 31 de marzo al 6 de abril de 2020; 30 de marzo al 5 de abril, 2021.

# 1 POR QUÉ UNA ESTRATEGIA DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES Y UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA REGIÓN DEL CARIBE

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El Gran Mar Caribe abarca tres Grandes Ecosistemas Marinos (LME) que, en conjunto, abarcan una vasta zona marina de 4,4 millones de km<sup>2</sup>, desde las Bahamas y los Cayos de Florida en el norte hasta el estuario del río Parnaíba en Brasil en el sur (Figura 1.1). Estos LME proporcionan una amplia gama de bienes y servicios de los ecosistemas que sustentan el desarrollo social y económico, así como la economía azul en los 26 Estados Independientes y 18 Territorios de Ultramar que comparten esta vasta zona marina. Los principales sectores económicos, como el turismo, la pesca, el transporte marítimo y el comercio, están inextricablemente vinculados al Mar Caribe. Una estimación conservadora de los ingresos brutos generados en 2012 por la economía oceánica en el Caribe fue de 407.000 millones de dólares y de 53.000 millones de dólares para los Estados y Territorios Insulares (Patil et al., 2016).



Figura 1.1 El Gran Mar Caribe y la zona del Convenio de Cartagena

El aumento de la población humana, la urbanización costera mal planificada y las pautas de producción y consumo perjudiciales están generando presiones sin precedentes sobre el medio ambiente marino de la Región del Gran Caribe (RGC). Hay pruebas indiscutibles de que la contaminación, en particular la procedente de fuentes terrestres, se ha convertido en una amenaza grave y generalizada para los ecosistemas marinos, así como para la salud humana, los medios de vida e importantes sectores económicos como el turismo y la pesca, y que obstaculiza el desarrollo de una economía azul al degradar su base de recursos naturales (PNUMA-PAC, 2019). Además, los costes económicos asociados a la contaminación marina pueden ser significativos. Por ejemplo, el coste anual de los daños causados por la hipoxia costera (baja concentración de oxígeno en el agua) derivada de la contaminación por nutrientes se ha estimado entre 200.000 y 800.000 millones de dólares al año, lo que representa un importante lastre para el progreso económico y la reducción de la pobreza (Hudson y Glemarec, 2012). Según el Grupo Mixto de Expertos de las Naciones Unidas sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino (GESAMP), se calcula que el 80% de la contaminación marina procede de fuentes terrestres. Esto incluye los residuos sólidos, las aguas residuales domésticas e industriales, los plásticos, los nutrientes, los sedimentos y los subproductos tóxicos de diversas industrias, incluida la minería. Otras fuentes importantes de contaminación son las actividades basadas en el océano, como el transporte marítimo, el

turismo de cruceros, la pesca y la exploración y extracción de petróleo y gas (Diez et al., 2019; PNUMA-PAC, 2019). Es probable que la contaminación del medio ambiente marino de la Región del Gran Caribe se intensifique en un escenario "sin cambios" y se vea agravada por los impactos del cambio climático, que ya son evidentes en toda la región.

La preocupación por la contaminación es tan importante y generalizada que la cuestión se refleja en todos los marcos internacionales relacionados con el medio ambiente y el desarrollo sostenible que se han creado en las últimas décadas (anexo 1.1). Entre ellos destacan varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y Metas, así como el Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino en la Región del Gran Caribe (Convenio de Cartagena) y sus tres Protocolos:

- Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres (Protocolo FTCM)
- Protocolo sobre la cooperación en la lucha contra los vertidos de petróleo en la Región del Gran Caribe
- Protocolo relativo a las áreas y flora y fauna silvestres especialmente protegidas (SPAW) en la Región del Gran Caribe

El Anexo III del Protocolo FTCM pide a las Partes Contratantes que tengan en cuenta el impacto que el nitrógeno (N) y el fósforo (P) y sus compuestos (nutrientes) pueden tener en la degradación del área del Convenio y, en la medida de lo posible, adopten las medidas adecuadas para controlar o reducir la cantidad total de nitrógeno y fósforo que se vierte en el área del Convenio o que puede afectarla negativamente.

En 2010, las Partes Contratantes del Protocolo FTCM acordaron elaborar el informe sobre el estado del área del convenio (SOCAR) sobre la contaminación de origen terrestre. El informe SOCAR presenta la primera evaluación regional del estado del medio marino de la Región del Gran Caribe con respecto a la contaminación de origen terrestre, incluidos los nutrientes y los impactos asociados (PNUMA-PAC, 2019). Al proporcionar una línea de base cuantitativa para el monitoreo y la evaluación del estado del medio ambiente marino con respecto a la contaminación de base terrestre, SOCAR tiene como objetivo ayudar a las Partes Contratantes a cumplir con sus obligaciones de presentación de informes y evaluar el progreso hacia los objetivos y metas pertinentes, incluidos los ODS, particularmente el ODS 14.1. Esta evaluación también contribuirá a fundamentar las decisiones regionales y nacionales para hacer frente a las fuentes de contaminación de origen terrestre, incluido el desarrollo de una estrategia regional y un plan de inversión/acción para la reducción de la contaminación por nutrientes en la Región del Gran Caribe.

## **1.2 FERTILIZAR EL OCÉANO: LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES Y SUS CONSECUENCIAS**

### **1.2.1 Nutrientes en el océano**

Todos los organismos vivos necesitan nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, el hierro, el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el calcio para sobrevivir. En los ecosistemas acuáticos, las proporciones relativas de estos elementos deben estar en equilibrio para mantener la salud ecológica y la productividad. La gran mayoría de las aguas superficiales oceánicas están agotadas en N inorgánico, P, hierro y/o sílice (Si), que son los nutrientes que limitan la producción primaria en el océano (Bristow et al., 2017). Sin embargo, fuera de las zonas de alto contenido en nutrientes y baja clorofila, la productividad en la mayor parte del

océano (alrededor del 75%) está limitada por la disponibilidad de nitrógeno inorgánico, a pesar de las concentraciones muy bajas de hierro y, en algunos casos, de fosfato. El nitrógeno en forma de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) y de fósforo inorgánico disuelto (DIP) puede ser utilizado directamente por las plantas marinas. El DIN es también la forma de nitrógeno que más aumenta en los ríos (y que posteriormente llega a las zonas costeras) como resultado de la actividad humana (Seitzinger et al., 2010).

Desde que se iniciaron la revolución verde y la revolución industrial en el siglo pasado, las actividades humanas han acelerado el vertido de cargas excesivas de nutrientes, como el N y el P, a los ecosistemas acuáticos, procedentes de fuentes puntuales y no puntuales, tanto terrestres como marinas, así como de la deposición atmosférica. ¿Por qué es un problema el enriquecimiento en nutrientes de las aguas marinas? Este fenómeno (eutrofización) altera el equilibrio natural de nutrientes en el océano y es una de las principales causas de hipoxia y deterioro de la salud y la productividad de muchos de los ecosistemas marinos y de agua dulce del mundo (véanse el apartado 1.3 y el capítulo 3). El nitrógeno es de suma importancia tanto para causar como para controlar la eutrofización en los ecosistemas costeros y marinos (Howarth et al., 2000).

### **1.2.2 Fuentes externas de nutrientes**

En el capítulo 2 se ofrece un análisis detallado de las fuentes y las cargas de nutrientes en las aguas costeras de la Región del Gran Caribe. Las principales fuentes antropogénicas de nutrientes en las zonas costeras son las aguas residuales domésticas sin tratar (aguas residuales), la escorrentía de los fertilizantes agrícolas, la producción ganadera y la deposición atmosférica de nitrógeno (Seitzinger y Mayorga, 2016; Beusen et al., 2015, 2016). Otras fuentes de nutrientes a las masas de agua son las instalaciones de acuicultura (FAO, 2017) y el uso de fertilizantes en el turismo, especialmente en los campos de golf de las zonas costeras, que pueden ser otra fuente sustancial de nutrientes a través de la escorrentía o la infiltración de aguas subterráneas, especialmente en los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID). Los nutrientes también pueden introducirse en las aguas costeras a través de la descarga de aguas subterráneas submarinas, y se ha descubierto que el nitrato procedente de la agricultura es el contaminante químico más común en los acuíferos subterráneos del mundo (WWDR 2013). Los sectores marinos, como el turismo de cruceros y el transporte marítimo comercial, probablemente contribuyen a la contaminación por nutrientes a través del vertido de cantidades significativas de aguas residuales y residuos alimentarios en el océano, a pesar del Anexo IV de MARPOL sobre la prevención de la contaminación por aguas residuales de los buques. Los datos sobre las cargas de nutrientes procedentes de fuentes marinas son escasos, pero es probable que sean sustanciales si se tiene en cuenta el uso intensivo de la zona marina de la RGC para actividades económicas.

Sin embargo, entre todas estas fuentes, la agricultura es actualmente la fuente antropogénica más importante de nutrientes en las zonas costeras de la Región del Gran Caribe (PNUMA-PAC, 2019), como se explica en el capítulo 2 de este informe. La agricultura es un sector económico importante en la Región del Gran Caribe, que contribuye con alrededor del 7% del producto interno bruto (PIB) a nivel regional (PNUMA-PAC, 2019). Sin embargo, para los países individuales, la contribución de este sector al PIB en 2011-2015 alcanza hasta el 16 por ciento para Dominica en el Caribe insular y el 35 por ciento para Guyana entre los países continentales. El uso excesivo e inadecuado de fertilizantes sintéticos en la agricultura da lugar a la pérdida de cantidades significativas de N y P. Más de la mitad del N añadido a las tierras de cultivo se pierde en el medio ambiente, desperdiciando el recurso, produciendo amenazas para el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, y generando emisiones de gases de efecto invernadero (Lassaletta et al., 2014). Se ha calculado que el total de nitrógeno desperdiciado en el mundo asciende a unos 200 millones

de toneladas al año, lo que equivale a una pérdida económica de 200.000 millones de dólares anuales (Sutton et al., 2013). Las aguas residuales representan alrededor del 9 y el 10 por ciento de N y P, respectivamente.

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de los fertilizantes y de disponer de tecnologías de tratamiento de aguas residuales eficaces y de bajo coste a corto e inmediato plazo. Otra fuente de aportación de nutrientes al océano es la deposición atmosférica. A nivel mundial, las fuentes de emisión de nitrógeno están dominadas por los procesos de combustión, que emiten formas oxidadas de nitrógeno; y las fuentes agrícolas, que emiten amoníaco (Jickells et al., 2016). La deposición de nutrientes en el océano a partir de las nubes de polvo originadas en el desierto del Sahara está recibiendo una atención creciente, especialmente en vista de la reciente proliferación y afluencia de Sargazo en algunas partes del Gran Mar Caribe. Muchos estudios han demostrado que estas nubes contienen nutrientes como hierro, N y P, que se depositan en las aguas superficiales del océano Atlántico occidental, estimulando la producción primaria (por ejemplo, Baker et al., 2010; Bristow et al., 2010; Yu et al., 2015; Chien et al., 2016; Barkley et al., 2019; Wang et al., 2019).

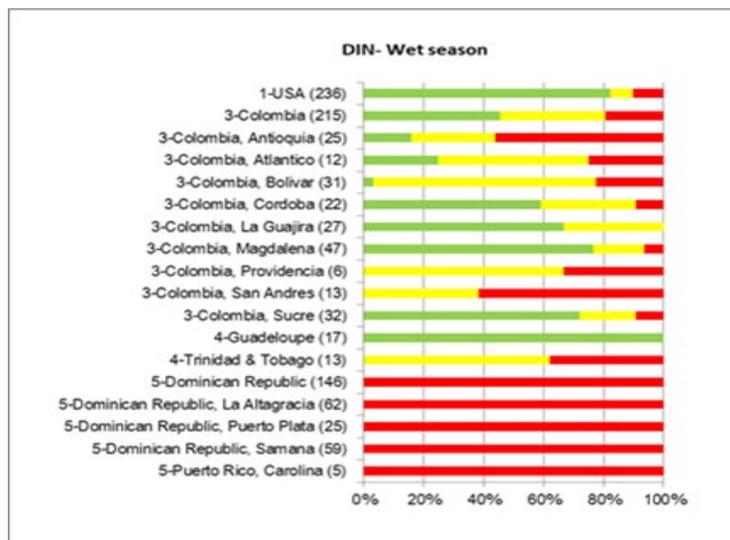
En la Región del Gran Caribe y en otras regiones, se prevé un mayor enriquecimiento de nutrientes en las aguas costeras a medida que aumenten las poblaciones humanas y su necesidad de alimentos y energía. Con la previsión de que la población de la Región del Gran Caribe alcanzará casi 800 millones de personas en 2050 (PNUMA-PAC, 2019) y la continuación de los patrones de desarrollo insostenibles, se espera que la descarga de N y P en las aguas costeras siga aumentando en las próximas décadas, a menos que se tomen las medidas adecuadas.

En resumen, las aguas costeras están fuertemente influenciadas por sus cuencas hidrográficas, con mayores cargas de nutrientes y materia orgánica, principalmente procedentes de la agricultura, las aguas residuales y la combustión de combustibles fósiles. Dado que las principales fuentes de nutrientes proceden de las cuencas hidrográficas, es imperativo que la gestión de la contaminación por nutrientes en la Región del Gran Caribe se base en un enfoque de cuenca hidrográfica que vaya de la cresta al arrecife (de la fuente al mar) y que incorpore también las principales fuentes marinas de nutrientes.

### **1.2.3 Impactos ecológicos y consecuencias socioeconómicas de la contaminación por nutrientes**

Los impactos de la contaminación por nutrientes en los ecosistemas marinos están bien documentados. En el informe de SOCAR (PNUMA-PAC 2019) se presenta un análisis de la contaminación por nutrientes en la Región del Gran Caribe y en el capítulo 3 de este informe se ofrece un análisis detallado de los impactos ambientales, ecológicos y socioeconómicos de la contaminación por nutrientes. Las cargas excesivas de nutrientes en las aguas costeras reducen la calidad del agua y desencadenan una cascada de cambios que afectan a la salud y la productividad de los ecosistemas marinos, con consecuencias socioeconómicas potencialmente graves (capítulo 3). Basándose en los datos empíricos de los países sobre las concentraciones de DIN y DIP en las aguas costeras, la evaluación de SOCAR muestra que muchos lugares se encuentran en mal estado con respecto a la contaminación por nutrientes como el DIN (Figura 1.2). Estos lugares están asociados principalmente al vertido de aguas residuales domésticas de zonas urbanas y a la escorrentía continental de cuencas fluviales con una intensa producción agrícola, como la cuenca del río Magdalena de Colombia y la cuenca del río Mississippi-Atchafalaya de Estados Unidos. Una evaluación de la contaminación por nutrientes en las cuencas fluviales transfronterizas de la RGC, realizada en el marco del Programa de Evaluación de Aguas Transfronterizas (TWAP), indicó que varios de

estos ríos (Catatumbo, Masacre, Artibonite, Motaqua, Chamelecón y Río Grande) tenían un riesgo de contaminación por nutrientes de moderado a alto (PNUMA-DHI y PNUMA, 2016).



**Figura 1.2** Proporción de sitios de muestreo que muestran un estado bueno, regular y malo en la estación húmeda para el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN). El número que precede al país y a la unidad administrativa de primer nivel es la subregión SOCAR; el número entre paréntesis es el número de sitios de muestreo. (Estado: verde: bueno; amarillo: regular; rojo: malo) (PNUMA-PAC, 2019).

La eutrofización puede dar lugar a un mayor crecimiento y abundancia de fitoplancton (algunos de los cuales pueden ser tóxicos, como en las floraciones de algas nocivas) y macroalgas, y al agotamiento del oxígeno en el fondo marino a medida que las masas de algas muertas se hunden y se descomponen (Breitburg et al., 2018). Además, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (hipoxia) pueden crear "zonas muertas" (áreas desprovistas de macrofauna), como se observa, por ejemplo, en el norte del Golfo de México, que es la zona hipóxica más extensa de la región (PNUMA-PAC, 2019). La hipoxia se ve exacerbada por los impactos del cambio climático en el océano (Breitburg et al., 2018). Un fenómeno reciente y bien conocido en la región que se cree que está vinculado a una combinación de factores entre los que se encuentra el enriquecimiento de nutrientes de las aguas marinas a ambos lados del Océano Atlántico es la proliferación y la afluencia de Sargazo en el Mar Caribe más amplio. Aunque la causa exacta de este fenómeno aún no se ha confirmado, los científicos creen que las corrientes oceánicas anormales y los patrones de viento vinculados al cambio climático, combinados con el aumento de los aportes de nutrientes al océano, probablemente contribuyeron al aumento masivo de la biomasa y el movimiento de Sargazo alrededor del Atlántico (por ejemplo, Louime et al., 2017; Wang et al., 2019; Johns et al., 2020). Es necesario seguir investigando para identificar de forma concluyente las causas de la proliferación de Sargazo en la RGC. Véase el capítulo 2 para más detalles.

Como consecuencia de la contaminación, incluido el enriquecimiento en nutrientes de las aguas marinas de la Región del Gran Caribe, y de otras presiones como el calentamiento de las aguas y la acidificación de los océanos debido al cambio climático, la capacidad de los ecosistemas marinos de la región para proporcionar bienes y servicios ecosistémicos esenciales, se está viendo gravemente comprometida. Esto tiene serias implicaciones para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, así como para la consecución de los ODS y otros objetivos a los que se aspira, y para el desarrollo de la economía azul en la Región del Gran Caribe. En el capítulo 3 se analizan los impactos ecológicos y las consecuencias socioeconómicas de la contaminación por nutrientes.

### 1.3 EL RETO DE LOS NUTRIENTES Y LA AGENDA GLOBAL DE DESARROLLO

"La contaminación por nutrientes es uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan los sistemas acuáticos en todo el mundo. Se trata de un problema perverso, en el que intervienen múltiples contaminantes de distintas fuentes que interactúan de forma compleja en el espacio y el tiempo a lo largo de múltiples vías, y en el que la incertidumbre está presente en cada etapa del proceso, desde la generación de los contaminantes hasta los impactos ecológicos y económicos finales". (Shortle y Horan 2017).

El uso acelerado de nitrógeno y fósforo está en el centro de una intrincada red de beneficios para el desarrollo y problemas medioambientales que amenazan la salud humana, el clima, los ecosistemas y los medios de vida. Por un lado, el nitrógeno y el fósforo son dos nutrientes clave que, en conjunto, desempeñan un papel vital en las agendas de desarrollo sostenible global y local, ya que la mitad de la seguridad alimentaria mundial depende del uso de fertilizantes de nitrógeno y fósforo. Por otra parte, el exceso de nutrientes procedentes de los fertilizantes, la quema de combustibles fósiles y las aguas residuales de las comunidades humanas, la ganadería, la acuicultura y la industria tienen profundas repercusiones, desde la contaminación de los suministros de agua hasta el debilitamiento de importantes ecosistemas y de los servicios y medios de vida que sustentan. Estos problemas se intensificarán, a costa de los países, a medida que aumente la demanda de alimentos y energía, y que las crecientes poblaciones urbanas produzcan más aguas residuales sin una infraestructura de tratamiento adecuada.

Producir más alimentos y energía con menos contaminación por nutrientes y degradación ecológica plantea un dilema, denominado el "desafío de los nutrientes" (<http://www.nutrientchallenge.org/>). Se necesita un nuevo esfuerzo mundial para abordar el "nexo de los nutrientes", en el que la reducción de las pérdidas de nutrientes y la mejora de la eficiencia en el uso de los mismos en todos los sectores proporcionan simultáneamente los cimientos de una economía más ecológica para producir más alimentos y energía, al tiempo que se reduce la contaminación ambiental (Figura 1.3). La gestión sostenible del nitrógeno proporciona un marco para sumar los múltiples beneficios colaterales de la adopción de medidas (Sutton et al., 2013).

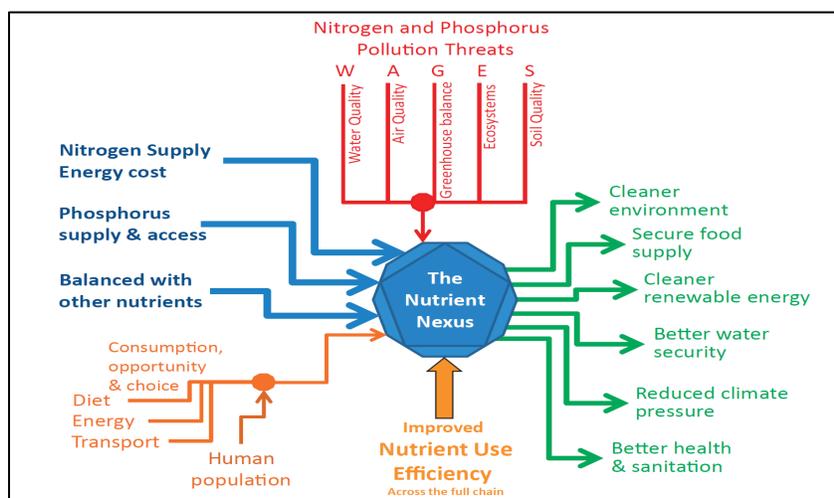


Figura 1.3 El "nexo de los nutrientes". Los ciclos de los nutrientes representan un nexo clave entre los retos económicos, sociales y medioambientales mundiales. Mejorar la eficiencia del uso de los nutrientes en toda la cadena se convierte en la clave compartida para obtener múltiples beneficios (Sutton et al., 2013).

La toma de conciencia de las importantes implicaciones de la gestión de los nutrientes y de la contaminación por nutrientes en el desarrollo sostenible ha elevado los nutrientes, en particular el nitrógeno, a la agenda mundial, incluida la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030. Por ejemplo, como se ilustra en la Figura 1.4, el nitrógeno es relevante en los 17 ODS. Obsérvese que, además del N, en el que se centra la Figura 1.4, la contaminación por exceso de P también es motivo de preocupación y se aborda en el RNPRSAP.



Figura 1.4 Ilustración de las múltiples formas en las que la gestión sostenible del nitrógeno puede contribuir al cumplimiento de los ODS, destacando el potencial de una ambiciosa aspiración de reducir a la mitad los residuos de nitrógeno a nivel mundial procedentes de todas las fuentes de contaminación por nitrógeno para 2030 (Sutton et al., 2013).

La meta 14.1 de los ODS (Para 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la procedente de actividades terrestres, incluidos los desechos marinos y la contaminación por nutrientes) aborda explícitamente los nutrientes, siendo el Índice de Eutrofización Costera (ICEP) el indicador de contaminación por nutrientes de los ODS. El ICEP se basa en la relación entre el Si disuelto y el N o el P en las cargas de nutrientes que llegan a las zonas costeras y representa el potencial de nueva producción de biomasa de algas nocivas en las aguas costeras, asociado al aumento de las aportaciones de nutrientes (véanse los capítulos 2 y 3). Otro objetivo mundial que aborda explícitamente la contaminación por nutrientes es la Meta 6 del Marco Mundial para la Diversidad Biológica posterior a 2020 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Para 2030, reducir la contaminación procedente de todas las fuentes, incluida la reducción del exceso de nutrientes, a niveles que no sean perjudiciales para la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas ni para la salud humana).

El 15 de marzo de 2019, la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) adoptó una resolución que aborda específicamente la gestión del nitrógeno: la Resolución sobre la gestión sostenible del nitrógeno (UNEP/EA.4/Res.14), en la que se pedía al Director Ejecutivo que movilizara un enfoque coherente, multisectorial y de múltiples impactos en relación con el nitrógeno. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha elaborado una hoja de ruta para la acción sobre la

gestión sostenible del nitrógeno 2020-2022. Además, en octubre de 2019, la ONU lanzó una Campaña Mundial sobre la Gestión Sostenible del Nitrógeno, en Colombo, Sri Lanka, donde se hizo una declaración histórica (Declaración de Colombo sobre la Gestión Sostenible del Nitrógeno), estableciendo un ambicioso objetivo de reducir a la mitad los residuos de nitrógeno a nivel mundial para 2030. Se espera que esto conlleve beneficios inmediatos en la lucha contra el cambio climático, la contaminación atmosférica y la pérdida de biodiversidad, y que suponga un ahorro de 100.000 millones de dólares y fomente la innovación en sectores como la agricultura, la energía y el transporte. Para alcanzar este objetivo será necesario mejorar el uso de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, aumentar el uso de los fertilizantes orgánicos e impulsar el reciclaje de los nutrientes procedentes de la agricultura, entre otros (véase el capítulo 5).

Otra respuesta importante al "desafío de los nutrientes" es la creación de la Alianza Mundial para la Gestión de los Nutrientes (GPNM) (Cuadro 1.1) con sus plataformas regionales. La GPNM se creó en el marco del Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (GPA). La plataforma regional de la GPNM para el Caribe se puso en marcha en 2013 en Puerto España (Trinidad y Tobago). En concreto, el propósito de la plataforma regional de nutrientes de la GPNM para el Caribe es ampliar el alcance del PNUMA y de la GPNM a nivel nacional para impulsar políticas y fomentar la aplicación de las mejores prácticas en la gestión de nutrientes para minimizar los impactos adversos en el medio marino. Cuando esté plenamente operativa, la Plataforma del Caribe de la GPNM se convertirá en la principal plataforma regional para la gestión armonizada de nutrientes en la región.

**Cuadro 1.1. Asociación Mundial para la Gestión de los Nutrientes (GPNM)**

En la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, celebrada en mayo de 2009, se acordó establecer un mecanismo mundial para reunir y armonizar lo que se percibía como esfuerzos fragmentados para abordar el desafío de los nutrientes entre el gran número de partes interesadas (gobierno, investigación y academia, organizaciones de productores agrícolas y de fertilizantes del sector privado, OIG regionales e internacionales y ONG). La GPNM se formó como resultado y se convirtió en el mecanismo de asociación de múltiples partes interesadas compuesto por estas diversas entidades junto con las agencias de la ONU comprometidas con la promoción de la gestión eficaz de los nutrientes para lograr el doble objetivo de la seguridad alimentaria a través del aumento de la productividad, y la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Proporciona una plataforma para que los gobiernos, las agencias de la ONU, los científicos y el sector privado forjen una agenda común, incorporando las mejores prácticas y las evaluaciones integradas, para que la elaboración de políticas y las inversiones sean efectivamente "a prueba de nutrientes". Las actividades de la GPNM se agrupan en cuatro áreas clave: (1) Desarrollo de conocimientos políticos y técnicos que sirvan de base para la toma de decisiones entre los responsables políticos, los profesionales, los agricultores y el sector privado; (2) Apoyo a la experimentación y reproducción de soluciones y prácticas adecuadas para la gestión sostenible de los nutrientes y la reducción de la contaminación, centrándose en los países en desarrollo y compartiendo las lecciones aprendidas en los países desarrollados; (3) Generación de recursos de concienciación y herramientas de marketing social y facilitación de la difusión entre las partes interesadas para impulsar el cambio de comportamientos y prácticas; y (4) Contribución al fortalecimiento continuo de la GPNM para facilitar la ampliación de las asociaciones mundiales y regionales, en particular a través de las plataformas regionales de gestión de nutrientes.

(<http://www.nutrientchallenge.org/>)

Además de lo anterior, la comunidad internacional se ha embarcado en varios proyectos e iniciativas globales como:

- Proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) "Bases mundiales para reducir el enriquecimiento de nutrientes y el agotamiento del oxígeno procedentes de la contaminación de origen terrestre, en apoyo del ciclo mundial de los nutrientes" (Proyecto GNC del FMAM), ejecutado por el PNUMA. El objetivo es sentar las bases (incluidas las asociaciones, la información, las herramientas y los mecanismos políticos) para que los gobiernos y otras partes interesadas inicien programas integrales, eficaces y sostenidos que aborden el enriquecimiento excesivo de nutrientes y el agotamiento del oxígeno por la contaminación de origen terrestre de las aguas costeras en los grandes ecosistemas marinos. (<http://www.nutrientchallenge.org/gef-global-nutrient-cycling-gnc-project>).
- Proyecto del FMAM "Investigación orientada a mejorar la comprensión del ciclo mundial del nitrógeno para el establecimiento de un Sistema Internacional de Gestión del Nitrógeno (INMS)", ejecutado por el PNUMA (<https://www.inms.international/>).
- La Iniciativa Internacional sobre el Nitrógeno (INI), que es un programa internacional creado en 2003 bajo el patrocinio del Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente y el Programa Internacional sobre la Geosfera y la Biosfera. En 2001 se creó el Centro Latinoamericano de la INI, encargado de evaluar el desafío del nitrógeno en la región (<https://initrogen.org/latin-america>).

En el marco de estas iniciativas, se están llevando a cabo innumerables proyectos y actividades en todo el mundo, incluso en América Latina y el Caribe, y se ha generado un inmenso volumen de datos, información, estudios de casos y lecciones (véase <http://www.nutrientchallenge.org/>).

En el capítulo 4 de este informe se incluye un análisis de los marcos y actividades de gobernanza a nivel regional y nacional en la Región del Gran Caribe que son relevantes para la gestión de los nutrientes.

#### **1.4 ESTRATEGIA Y PLAN DE ACCIÓN REGIONAL DE REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES DE LA RGC**

En vista de la naturaleza multifacética de la contaminación por nutrientes y la creciente intensidad de los impulsores y las presiones asociadas a la contaminación por nutrientes, es un imperativo urgente una estrategia y un plan de acción regionales integrales de reducción de la contaminación por nutrientes que adopten un enfoque de cuenca integrado que incorpore a todos los sectores y partes interesadas pertinentes. En octubre de 2019, la Unidad de Coordinación Regional del Programa Ambiental del Caribe (PAC) de la PNUMA (UCR-CAR) /Secretaría del Convenio de Cartagena inició el desarrollo de una Estrategia Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes y Plan de Acción (RNPRSAP) para la Región del Gran Caribe. El RNPRSAP apoyará los compromisos globales relacionados con el mantenimiento de la salud de los ecosistemas acuáticos, como se ha comentado anteriormente. Su objetivo 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 de la Región del Gran Caribe. El RNPRSAP responde y apoya el Convenio de Cartagena y sus protocolos FTCEM y SPAW, el Programa de Acción Estratégica (SAP) del CLME+, la Estrategia Regional del PAC para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe, los acuerdos ambientales multilaterales pertinentes (Convenio sobre la Diversidad Biológica - CBD, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación - UNCCD, y el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques - MARPOL), y las principales declaraciones y objetivos mundiales relacionados con la contaminación por nutrientes mencionados anteriormente.

El apoyo financiero para la preparación del RNPRSAP fue proporcionado por el Proyecto PNUD/FMAM CLME+ "Catalizando la Implementación del Programa de Acción Estratégica para la Gestión Sostenible de los Recursos Marinos Vivos Compartidos en los Grandes Ecosistemas Marinos del Caribe y la Plataforma Norte de Brasil". Varias instituciones de la Región del Caribe y actores regionales colaboraron con la CAR-RCU en el desarrollo del RNPRSAP. En el marco de esta colaboración, la CAR-RCU contrató a las siguientes entidades para preparar estudios subregionales sobre la contaminación por nutrientes, como contribución a la estrategia el Instituto de Asuntos Marinos (IMA) de Trinidad y Tobago, en calidad de Centro de Actividad Regional (CAR) del Protocolo FTSM para los países de habla inglesa; el Centro Cubano de Investigación y Gestión Ambiental del Transporte (CIMAB), en calidad de CAR FTSM para los países de habla hispana; y la Universidad Federal de Pará en Brasil para los estudios nacionales sobre Brasil, Guyana, Surinam y Venezuela. La UCR del CAR obtuvo información de los territorios franceses (Martinica y Guadalupe), en nombre del CAR-IMA.

El RNPRSAP se desarrolla en el capítulo 5.

## 1.5 ORGANIZACIÓN DE ESTE INFORME

A este capítulo (Capítulo 1) siguen los cuatro capítulos siguientes:

**Capítulo 2:** Un examen detallado y cuantificación (en cuanto posible) de las fuentes de nutrientes a escala de la cuenca. Éstas incluyen fuentes antropogénicas como la escorrentía de aguas superficiales y subterráneas de la agricultura, las aguas residuales domésticas, las fuentes puntuales industriales incluida la acuicultura, y la deposición atmosférica; fuentes naturales como la vegetación de las llanuras de inundación y la escorrentía no agrícola. Adicionalmente, se evaluaron las fuentes marinas, como el turismo de cruceros y la navegación comercial.

**Capítulo 3:** Una inmersión en los impactos de la contaminación por nutrientes. Las consecuencias ecológicas analizadas incluyen la degradación de la calidad del agua basada en datos empíricos, el potencial de eutrofización de las cuencas receptoras costeras utilizando los resultados de los modelos; la aparición documentada y las consecuencias de las floraciones de algas nocivas, la formación de zonas hipóxicas y los impactos documentados en el funcionamiento del ecosistema, incluida la propagación de las floraciones nocivas de Sargazo. Adicionalmente, se revisan los costes sociales y económicos de la contaminación por nutrientes y sus impactos ambientales asociados en la RGC.

**Capítulo 4:** Análisis de los actuales marcos de gobernanza para abordar la contaminación marina en la Región del Gran Caribe a nivel regional y nacional, incluyendo los marcos institucionales, legislativos y políticos, la capacidad técnica e institucional existente y otras condiciones que son relevantes para la gestión de la contaminación por nutrientes en la Región del Gran Caribe. También se identifican las principales lagunas y barreras que deben abordarse para la aplicación efectiva del RNPRSAP.

**Capítulo 5:** Presenta la Estrategia Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes de la Región del Gran Caribe y el Plan de Acción. Describe los principios rectores de la RNPRSAP y los nueve pilares estratégicos con sus correspondientes objetivos y metas, incluyendo las condiciones necesarias para la aplicación de la RNPRSAP; un marco de aplicación institucional; un marco de acción para la aplicación de la estrategia a nivel regional y nacional; un marco de seguimiento y evaluación; y un compendio de estrategias y mejores prácticas de gestión para abordar la contaminación por nutrientes. El Capítulo 5 también incluye un resumen de los Capítulos 2 y 3 (fuentes de nutrientes e impactos) para facilitar el uso

del Capítulo 5 como documento independiente, si los lectores así lo desean. Por ello, en el Capítulo 5 hay algunas repeticiones inevitables de textos de los capítulos anteriores.

## 2 ENTRADAS, FUENTES Y CARGAS DE NUTRIENTES EN EL GRAN CARIBE

### 2.1 FUENTES Y MÉTODOS DE DATOS

#### 2.1.1 Enfoque de cuenca

Este informe utiliza un enfoque de cuencas hidrográficas para examinar las fuentes, los flujos y los impactos costeros de la contaminación por nutrientes. Una cuenca hidrográfica (también llamada cuenca de drenaje o cuenca de captación) se define como un área de tierra que drena todos los arroyos y la lluvia a una salida común, como la boca de una bahía o cualquier punto a lo largo de un canal de arroyo (Figura 2.1). Cada extensión de tierra en la tierra es parte de una unidad de cuenca. En todos los casos, excepto en unos pocos, el agua sale a las costas a través de los ríos cuando se trata de sistemas de cuencas hidrográficas exorreicas, como la mayoría de los de la Región del Gran Caribe (RGC). Las cuencas hidrográficas endorreicas son aquellas que no desembocan en el mar sino en lagos o pantanos como las cuencas hidrográficas transfronterizas Cul-de-Sac Depression y Lago Enriquillo en Hispaniola. Este informe se centra en las cuencas exorreicas de la región.

La escala de análisis de la cuenca hidrográfica se ubica dentro de un marco tipológico para permitir determinar las tendencias y patrones a escala de los tipos continentales / insulares y las subregiones de la RGC. Los 40 países y territorios se clasifican en cuatro tipos: a) **Grandes estados continentales de las subregiones I y III, incluido el norte de Brasil;** B) **Pequeños Estados Continentales en la Subregión II;** C) **Islas pequeñas en las subregiones III, IV y V de la RGC;** y D) **Islas Grandes ubicadas en la Subregión V.** Cada tipo tiene correlaciones matizadas en atributos geográficos, uso y cobertura de la tierra, características demográficas y económicas que impulsan el consumo de nutrientes, los flujos y los impactos ambientales (Tabla 2.1).

Las cuencas hidrográficas que drenan la RGC de 40 países y territorios constituyen el componente terrestre del análisis de este informe. Los sistemas acuáticos desde las cabeceras hasta las cuencas costeras receptoras forman el continuo del agua y sirven como medio para transportar nutrientes, sedimentos, aguas residuales y contaminantes de la tierra al mar. Los límites de las cuencas hidrográficas y los ríos que los atraviesan no siguen los límites administrativos. En la RGC, hay 26 cuencas hidrográficas transfronterizas cuyas subcuencas están ubicadas en dos o más países. En el caso de Brasil, todas sus cuencas hidrográficas que drenan hacia el Gran Ecosistema Marino de la Plataforma Norte de Brasil, que se extiende desde el Mar Caribe hasta el Estuario de Parnaíba, se incluyen en este informe. Las cuencas del río Amazonas situadas fuera de la RGC, como las de Bolivia, Ecuador y Perú, se incluyen en la modelización de las fuentes y cargas de nutrientes únicamente.

En consonancia con una evaluación completa del continuo del agua, este informe incluye las fuentes marinas de contaminación por nutrientes, tal y como se comenta en el capítulo 2.10. Aunque las fuentes puntuales de origen marino, como las instalaciones petrolíferas y los vertidos de buques y embarcaciones (buques mercantes y de crucero; yates) siguen siendo las principales lagunas de datos, la información disponible se presenta para destacar la necesidad de seguir investigando.

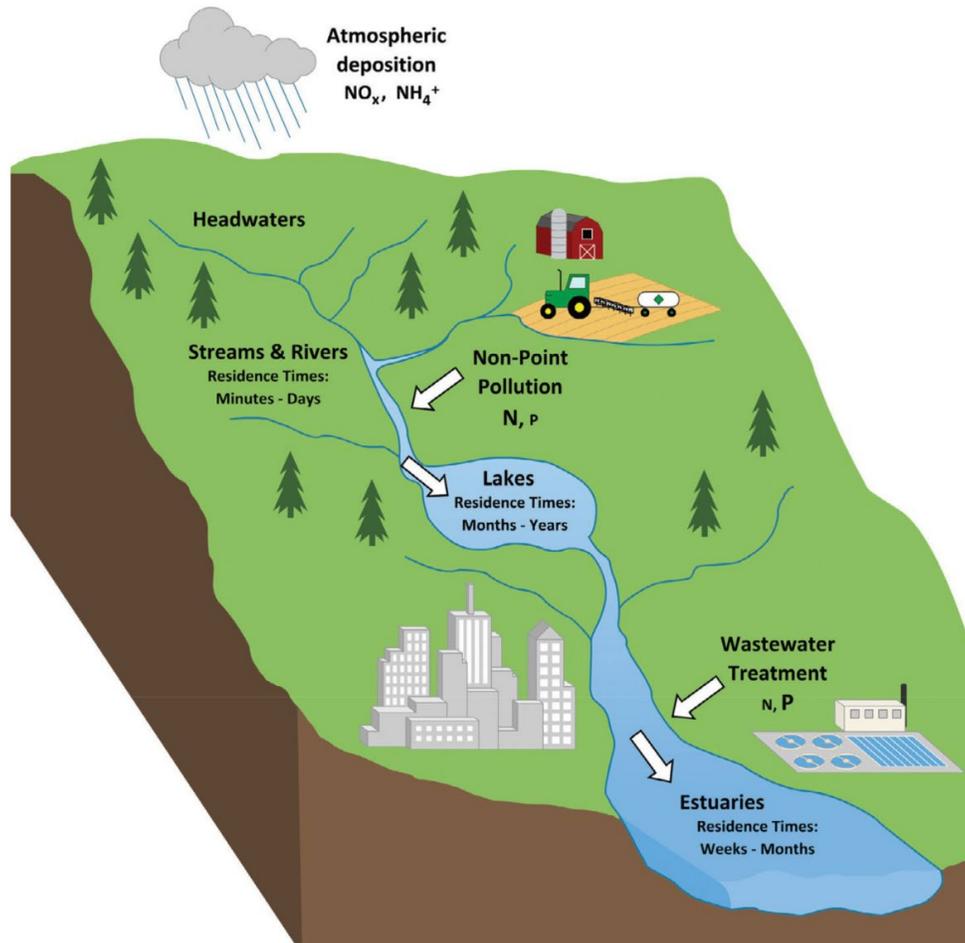


Figura 2.1 Una unidad de cuenca incluye la tierra y la red de arroyos y ríos que drena. Está delimitado por una división de drenaje que es la formación de tierra con la elevación más alta de donde se originan las cabeceras. También se incluyen fuentes de nutriente no puntuales y puntuales que conducen a estuarios y aguas costeras. (Fuente: Wurtsbaugh et al.2019).

### 2.1.2 Datos de entrada y análisis.

Para caracterizar las cuencas hidrográficas y los flujos y ciclos de materiales que componen los flujos de nutrientes, se tuvo acceso y se analizaron conjuntos de datos globales disponibles gratuitamente. Éstos incluyen:

- Base de datos HydroATLAS v1.0, con dos conjuntos de datos complementarios: BasinATLAS y RiverATLAS de Linke et al 2019. Las características de la cuenca se derivaron del conjunto de datos de Nivel 12, que tenía las mejores subdivisiones de subcuencas para cada cuenca, elegidas para proporcionar las estimaciones más precisas de áreas de uso del suelo, Producto Interior Bruto (PIB) espacial y población. Se analizó un total de 3211 cuencas principales exorreicas que drenan en la RGC a una resolución de 15 segundos de arco. La cobertura temporal de las características de la cuenca hidrográfica depende de los parámetros y, por lo general, cubre el período de 2000 a 2015.

- Conjunto de datos generado por el Modelo Integrado para Evaluar el Medio Ambiente Global (IMAGEN) - Modelo Global de Nutrientes (GNM) por Beusen et al. 2016. Utilizando un método de presupuesto del suelo que incorpora la población, la generación de aguas residuales y el uso de la tierra, este conjunto de datos proporciona estimaciones de las fuentes y cargas de nutrientes en términos de nitrógeno total (TN) y fósforo total para los años 1900 a 2000. Datos para el año modelo 2000 es presentado. El modelo resolvió un total de 470 cuencas de drenaje de la RGC a una resolución de 0.5 ° X 0.5 ° (2500 km<sup>2</sup> en el Ecuador).
- Conjunto de datos producido por Global Nutrient Export from Watersheds 2 (Global NEWS 2) por Mayorga et al. 2010. Usando un método de balance de suelos, este conjunto de datos proporciona estimaciones de cargas de formas orgánicas e inorgánicas disueltas de nitrógeno (DIN, DON), fósforo (DIP, DOP), carbono orgánico disuelto y particulado, y sílice disuelta para el año modelo 2000. Más importante aún, estos parámetros de entrada han permitido a los autores estimar el índice de potencial de eutrofización costera específico de nutrientes a escala de cuencas hidrográficas. El conjunto de datos proporciona datos para 261 cuencas de drenaje de la RGC a una resolución de 0,5 °.
- Los datos a escala de país sobre las entradas netas de nitrógeno antropogénico (NANI) de (1) la deposición de N atmosférico, (2) la fijación de N por los bosques y cultivos plantados, (3) el consumo de fertilizantes nitrogenados y (4) el neto de las importaciones menos las exportaciones de N en los productos agrícolas (Han et al. 2020). Estos se escalaron a áreas de cuencas hidrográficas de la RGC agregadas por país para el año modelo 2000 para complementar los años modelo de los conjuntos de datos anteriores.
- Se accedió a las bases de datos de la FAO para obtener parámetros de entrada para:
  - a. Tierra usar a país escala por el período 1961 a 2018 a <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>
  - b. Uso de plaguicidas (FAOSTAT) en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>
  - c. Aguas residuales (AQUASTAT) en <http://www.fao.org/aquastat/en/>
- Datos nacionales analizados en la preparación del Informe sobre el estado del área de la Convención de Cartagena (Evaluación de la contaminación marina a partir de fuentes y actividades terrestres en la región del Gran Caribe) (PNUMA-PAC, 2019). Los conjuntos de datos, aunque limitados en su cobertura de parámetros en el tiempo y el espacio, son fundamentales para subrayar la necesidad de la validación local de los datos del modelo y para mejorar las capacidades nacionales para implementar programas estratégicos de monitoreo de la contaminación.
- Informes subregionales que presentan datos nacionales. Se han preparado tres informes subregionales como parte del proceso de preparación de una estrategia de reducción de nutrientes y se citan los datos cuando procede. El conjunto de datos SOCAR, que se aplica a los países de habla inglesa, francesa y española, se ha utilizado ampliamente, especialmente para los países y territorios continentales e insulares en las subregiones I, III, IV y V de la RGC. Para

las cuencas hidrográficas que drenan hacia el LME de la plataforma norte de Brasil (NBSLME), se han obtenido datos de entrada apropiados de los conjuntos de datos globales citados anteriormente. Lo mismo se hizo para todos los países continentales de la Subregión II de la RGC, para los que no se hizo ninguna contribución nacional al conjunto de datos SOCAR. Cabe señalar que el conjunto de datos de Amazonia Legal de Brasil (Universidad de Para, 2020) es un subconjunto de las áreas de cuencas hidrográficas agregadas que drenan al NBSLME, y que todos los cálculos se escalan al NBSLME, que incluye la cuenca del Amazonas Legal de Brasil y las cuencas que drenan a lo largo de la costa hasta el estuario de Parnaíba (Isaac y Ferrari, 2017). También se incluyen las cuencas del río Amazonas en países no pertenecientes a la RGC, como Bolivia, Ecuador y Perú. Las áreas de uso del suelo y el tamaño de la población en estas cuencas se utilizaron para calcular la escorrentía de nutrientes y las aguas residuales domésticas vertidas al medio ambiente. Los modelos integrados incluyeron todas las cuencas del río Amazonas.

- El Programa de Evaluación de Aguas Transfronterizas evaluó las cuencas fluviales transfronterizas y se accedió a los indicadores de contaminación por nutrientes y de aguas residuales para las cuencas fluviales transfronterizas de la RGC (UNEP-DHI 2016; Talaue-McManus 2016).

### **2.1.3 Plan de acción y estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes de la RGC (RGC-NPRSAP)- Base de Datos V2**

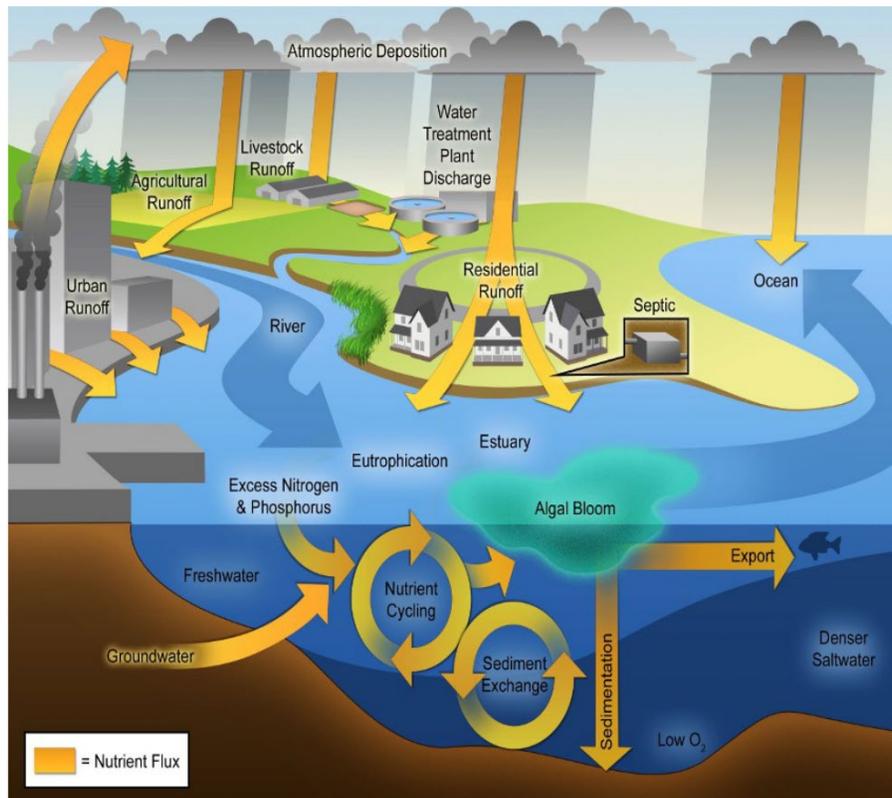
Todos los datos básicos comparables en metodología, a través de cuencas hidrográficas o países, tanto de entrada como derivados, se han reunido como una base de datos RGC-NPRSAP que es parte integral de este documento RGC-NPRSAP. Las escalas reflejan las de las fuentes de datos originales, a excepción de los cálculos de los inventarios de aguas residuales domésticas que se ajustaron a los datos de población espacial a escala de cuencas hidrográficas de HydroATLAS (Linke et al 2019) (Tabla 2.1). La base de datos está destinada a iniciar la recopilación de información necesaria para planificar la reducción de la contaminación por nutrientes. La generación de datos empíricos y de modelos para actualizar y mantener esta base de datos es factible cuando se establecen programas viables de vigilancia de la contaminación a escalas nacionales, subregionales o regionales en los países donde actualmente no existen, y fortalecido cuando existen capacidades como parte de una estrategia general para reducir la contaminación marina en general, y la contaminación por nutrientes, en particular. Para la comparabilidad entre países y para permitir la agregación a escala subregional de la RGC, los datos de las cuencas hidrográficas se agregan a la escala de país. Cabe señalar que para los parámetros clave en el establecimiento de los impactos ecológicos de la contaminación por nutrientes, como la evaluación de la tendencia hacia la eutrofización, el análisis a escala de la cuenca es de suma importancia. La agregación a una escala más gruesa que a nivel de la cuenca principal puede enmascarar el cálculo de los índices positivos de los potenciales de eutrofización. El análisis a escala de subcuenca puede ser factible a medida que los datos para los parámetros de entrada necesarios estén disponibles a través de modelos a escala fina o mediante programas de monitoreo de subcuencas. La base de datos son datos espacialmente explícitos, y cada uno de los parámetros estimados está referenciado a un año modelo. Los datos no espaciales, como los obtenidos de bases de datos a escala nacional como FAOSTAT, no se incluyen en la base de datos, ya que es mejor acceder a ellos directamente desde los proveedores de datos institucionales que suelen actualizar anualmente los datos de los países.

El Capítulo 5 (sección 5.3) proporciona un resumen de las principales tendencias y patrones de contaminación por nutrientes, incluidas las características asociadas de la cuenca, y se basan principalmente en los conjuntos de datos espaciales (HydroAtlas, IMAGE-GNM y Global NEWS) mencionados previamente. Estos se cotejan en este capítulo, cuyo objetivo es destacar las fuentes y cargas que contribuyen a la escorrentía de agroquímicos, aguas residuales domésticas, incluidos los patógenos, y fuentes puntuales de nutrientes industriales, entre otras. En este capítulo se proporcionan resúmenes y tendencias temporales a escala de países, como los de FAOSTAT, para complementar esta información georreferenciada.

**Tabla 2.1 Organización de datos a escala de cuencas hidrográficas en el NPRSAP para la región del Gran Caribe.**

<b>Características de Cuencas</b>	<b>Uso de la tierra y características demográficas</b> (resolución en 15 segundos de arco ~ 500 m en el ecuador)	<b>Insumos de nutrientes y fuentes de nutrientes basadas en el presupuesto del suelo</b> (resolución en 0,5 ° ~ 11 km en el ecuador)	<b>Cargas de Nutrientes</b> (resolución en 0,5 ° ~ 11 km en el ecuador)	<b>Índice costero Eutrofización</b> (resolución en 0,5 ° ~ 11 km en el ecuador)	<b>Calidad del agua costera (Datos nacionales SOCAR relacionados con los nutrientes)</b> (muestras de puntos)
<b>Tipo</b>					
<b>Países grandes continentales:</b> Sub-Regiones I y III, norte de Brasil	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colombia</li> <li>• México</li> <li>• EE.UU.</li> </ul>
<b>Países pequeños continentales:</b> Subregión II	✓	✓	✓	✓	Ninguno disponible
<b>Islas pequeñas:</b> RGC Subregiones III, IV y V	✓	✓	✓	Sólo Trinidad y Tobago con 2 recuentos de células de la cuenca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antigua y Barbuda</li> <li>• Barbados</li> <li>• Dominica</li> <li>• Granada</li> <li>• Santa Lucía</li> <li>• San Vicente y las Granadinas</li> <li>• Trinidad y Tobago</li> </ul>
<b>Islas grandes:</b>	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• República Dominicana</li> <li>• Jamaica</li> <li>• Puerto Rico</li> </ul>

<b>Fuentes de datos</b>	Linke et al 2019 usando el nivel 7 (para mapas) y conjuntos de datos de cuencas Nivel 12 (para cálculos de datos)	Han y col. 2020; Beusen y col. 2015 para el año modelo 2000	Beusen et al 2015: año modelo 2000 para nutrientes totales, Mayorga et al. 2010: año modelo 2000 para todas las formas de N y P	Mayorga et al. 2010	Informe SOCAR: (PNUMA-PAC, 2019)
-------------------------	---	---	---	---------------------	----------------------------------



**Figura 2.2** El uso de la tierra en la cuenca determina en gran medida las fuentes de nutrientes y contaminantes asociados que impactan negativamente las aguas costeras. Estos incluyen la conversión de bosques en tierras de cultivo y pastos para el ganado, y extensiones urbanas pavimentadas con superficies impermeables. La escorrentía agrícola de aguas superficiales y subterráneas y los flujos urbanos no puntuales contribuyen al exceso de cargas de nutrientes en las vías fluviales que llegan hasta la costa. (Fuente: Paerl 2006) [http://www.coastalwiki.org/wiki/Portal:Eutrophication/Concept\\_drawing](http://www.coastalwiki.org/wiki/Portal:Eutrophication/Concept_drawing)

## 2.2 Uso de la tierra en las cuencas hidrográficas de la RGC.

La conversión de tierras forestales para cultivos y ganado ha sido un factor singular de contaminación por nutrientes desde que la producción de fertilizantes nitrogenados sintéticos alcanzó una escala comercial en la década de 1920 (Tilman et al. 2001). (Figure 2.2). La tala de bosques y la expansión de tierras de

cultivo y pastos marcaron el advenimiento de la Revolución Verde (también conocida como la Tercera Revolución Agrícola) en la década de 1930. Se desarrollaron y distribuyeron semillas de alto rendimiento, que a menudo desplazaron a las variedades nativas que eran más resistentes a las plagas y enfermedades de las plantas debido a adaptaciones evolutivas bien afinadas a las condiciones locales (Rawlins et al. 1998). Los rendimientos aumentaron con importantes insumos de fertilizantes minerales. Durante los primeros 35 años de la Revolución Verde, la producción mundial de cereales, sobre todo arroz y trigo, se duplicó. Como ocurre con los impactos ambientales, las consecuencias ambientales adversas de los ecosistemas terrestres modificados y la biogeoquímica, y la adición de fertilizantes para impulsar la producción de alimentos comenzaron a manifestarse con graves consecuencias (Comité de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Estados Unidos, 2000).

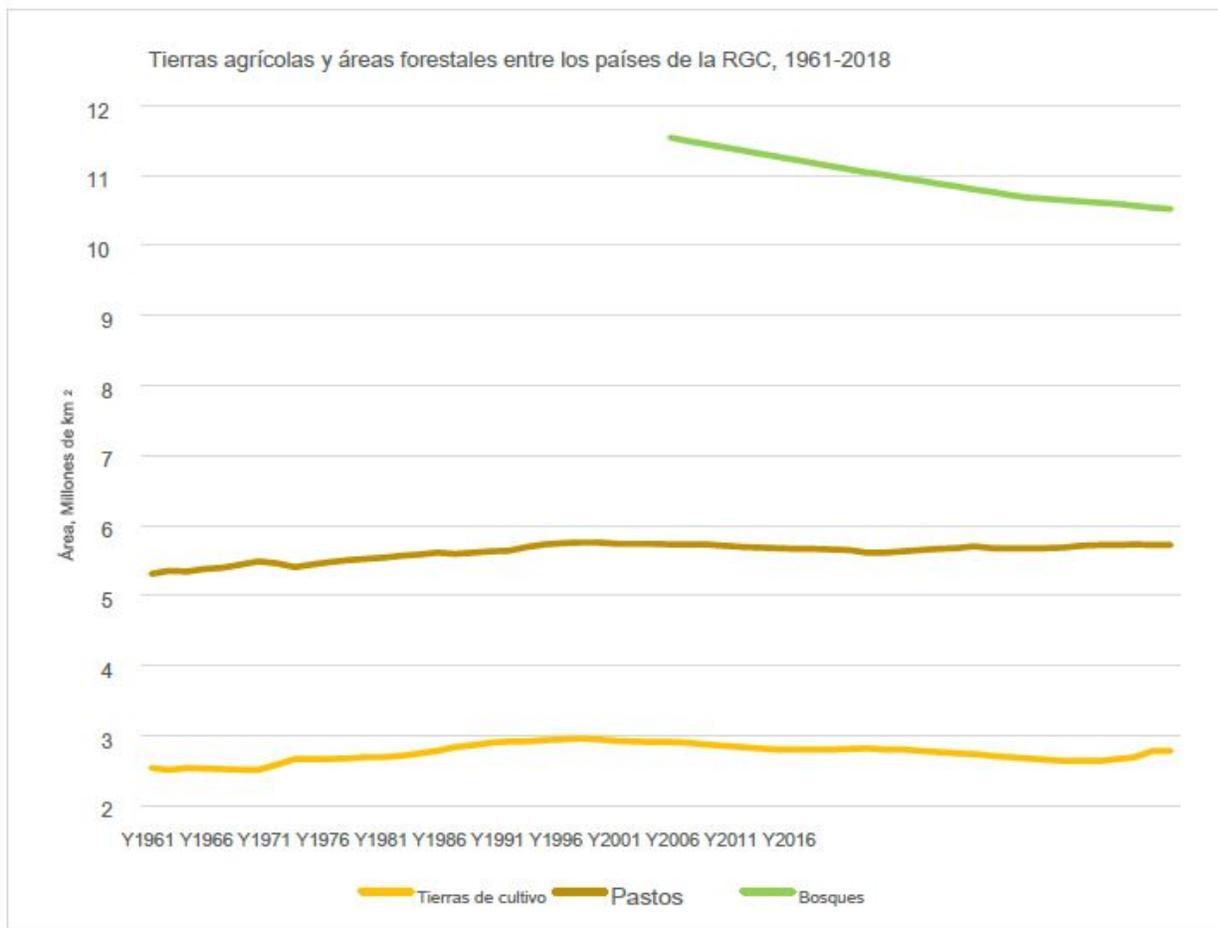
### **2.2.1 Uso de la tierra agrícola.**

Entre los países y territorios de la RGC, los cambios netos en las tierras agrícolas mostraron un aumento gradual de 1961 a 2018, período para el cual se dispone de datos armonizados (Figure 2.3, Table 2.2, Anexo 2.1). Los pastos aumentaron en un 8% a más de 4 millones de km<sup>2</sup> mientras que las tierras de cultivo se expandieron en un 10% y Brasil, Colombia, Cuba y Surinam duplicaron sus respectivas áreas de tierras de cultivo; Belice triplicó esta cifra y la Guyana Francesa la amplió cinco veces durante casi seis décadas (Tabla 2.2). A lo largo de la RGC, las tierras de cultivo aumentaron en 242.000 km<sup>2</sup> y pastos por 412.000 km<sup>2</sup>.

En el caso de las tierras forestales, los datos fueron sistematizados por la FAO a partir de 1990. Los registros que abarcan casi 30 años desde 1990 indican una pérdida neta de más de un millón de kilómetros. 2 de bosque, el 88% del cual fue talado en Brasil. En los EE. UU., Cuba y Puerto Rico, el área de bosque mostró un aumento neto de 73,000 (EE. UU.), 11,840 (Cuba) y 1.750 kilómetros<sup>2</sup>, respectivamente. Puede ser razonable pensar que el uso de las líneas de base de 1961 mostraría una mayor disminución neta de tierras forestales en toda la RGC. Los cambios en la extensión del bosque tuvieron profundas consecuencias sobre la biodiversidad terrestre y el ciclo biogeoquímico de los nutrientes, que desde entonces se ha vuelto cada vez más dominado por las aportaciones de nitrógeno y fósforo de la aplicación sostenida de fertilizantes sintéticos.

Debido al papel de la vegetación natural, en particular los bosques, en el ciclo estrecho de nutrientes a través del suelo, el agua, el aire y los compartimentos de biomasa y las comunidades microbianas del suelo asociadas, los nutrientes se mantienen con una fuga mínima a la red de arroyos. Los bosques tropicales, en particular, almacenan grandes cantidades de biomasa en suelos generalmente deficientes en nutrientes (Grau et al. 2017). Los mecanismos para la suplementación parcial de nutrientes pueden ser a través de la reubicación de nutrientes orgánicos de las hojas más viejas antes de que caigan (Foster y Bhatti 2006). Como tales, los bosques pueden regular la demanda de nutrientes a niveles que pueden ser significativamente más bajos que los requeridos por los cultivos hambrientos de nutrientes. Los servicios ecosistémicos que brindan los árboles en la regulación de nutrientes y el mantenimiento de la

biodiversidad son dos razones de peso para la conservación de los bosques. Al mismo tiempo, estas mismas funciones mantienen los nutrientes en circulación estrecha, sin excesos que puedan contaminar. Debería conservarse la cubierta forestal relativamente extensa de las subregiones II y III. En áreas donde el bosque es igual o menor que las áreas de tierra dedicadas a cultivos y ganado, la separación de áreas para amortiguadores con vegetación se encuentra entre las mejores prácticas más efectivas, además de la aplicación de fertilizantes en niveles que coinciden con la eficiencia óptima de nutrientes de los cultivos (Delkash et al. 2018).



**Figura 2.3 De 1961 a 2018, cambios netos en tierras de cultivo y pastos en los países y territorios de la RGC (millones de km muestran un aumento neto gradual del 10% durante casi seis décadas después de la Revolución Verde. Los pastos tenían casi el doble de superficie en comparación con las tierras de cultivo y aumentaron un 8% durante el mismo período. Los bosques durante el período registrado a partir de 1990 mostraron una disminución más pronunciada con más de un millón de kilómetros perdidos durante casi tres décadas (no seis décadas) para los cuales se han sistematizado datos. (Fuente de datos de entrada: FAOSTAT).**

Tabla 2.2 Cambios en las áreas agrícolas y forestales (km 2) entre los países y territorios de la RGC. Se realiza un seguimiento de los cambios en las tierras de cultivo y los pastos desde 1961 hasta 2018; el de los bosques cubren un período más corto de 1990 a 2019 (datos de entrada: FAOSTA T). Valores en rojo (paréntesis) indican pérdidas.

RGC Subregión	Área	ONU Código-ISO	Tierras de cultivo		Pastar		Bosque	
			Cambio en la Zona (2018 - 1961) km2	% cambio 1961 a 2018	Cambio en la Zona (2018 - 1961) km2	% cambio 1961 a 2018	Cambio en la Zona (2018 - 1990)	% Cambio 1990 a 2018
I	México	MEX	57,950	28%	27,800	4%	(46,440)	-7%
I	Estados Unidos de América	USA	(220,722)	-12%	(196,264)	-7%	73,450	2%
II	Belice	BLZ	800	190%	130	35%	(3,007)	-19%
II	Costa Rica	CRI	1,025	21%	2,850	31%	947	3%
II	Guatemala	GTM	5,090	33%	7,010	63%	(12,302)	-26%
II	Honduras	HND	1,160	8%	2,600	17%	(5,866)	-8%
II	Nicaragua	NIC	6,100	52%	10,250	46%	(27,918)	-44%
II	Panamá	PAN	1,860	33%	4,490	42%	(3,707)	-8%
III	Brasil	BRA	320,740	102%	478,458	38%	(898,466)	-15%
III	Colombia	COL	49,220	99%	46,000	13%	(54,177)	-8%
III	Guyana Francesa	GUF	158	527%	107	357%	(1,153)	-1%
III	Guayana	GUY	1,100	31%	(2,178)	-22%	(1,684)	-1%
III	Surinam	SUR	330	94%	100	167%	(1,568)	-1%
III	Venezuela (República Bolivariana de)	VEN	(1,820)	-5%	24,500	16%	(56,882)	-11%
IV	Antigua y Barbuda	ATG	(30)	-38%	20	100%	(19)	-18%
IV	Barbados	BRB	(90)	-53%	0	0%	0	0%
IV	Islas Vírgenes Británicas	VGB	0	0%	10	25%	(1)	-2%
IV	Dominica	DMA	80	53%	0	0%	(24)	-5%
IV	Granada	GRD	(120)	-63%	(20)	-67%	0	0%
IV	Guadalupe	GLP	(183)	-42%	119	85%	(25)	-3%
IV	Martinica	MTQ	(53)	-25%	27	21%	41	8%
IV	Montserrat	MSR	(20)	-50%	0	0%	(10)	-29%

IV	San Cristóbal y Nevis	KNA	(109)	-68%	(31)	-78%	0	0%
IV	Santa Lucía	LCA	(40)	-29%	(24)	-80%	(5)	-2%
IV	San Vicente y las Granadinas	SVG	(40)	-44%	10	100%	10	4%
IV	Trinidad y Tobago	TTO	(450)	-49%	20	40%	(130)	-5%
IV	Islas Virgenes de los Estados Unidos	VIR	(30)	-60%	(50)	-71%	(49)	-20%
V	Las Bahamas	BHS	30	33%	10	100%	0	0%
V	Cuba	CUB	19,116	116%	8,384	44%	11,840	58%
V	República Dominicana	DOM	2,420	24%	(30)	0%	5,330	33%
V	Haití	HTI	1,900	16%	(100)	-2%	(294)	-8%
V	Jamaica	JAM	(610)	-22%	(280)	-11%	678	13%
V	Puerto Rico	PRI	(2,378)	-78%	(2,093)	-67%	1,750	55%
	Cambio Neto		242,324	10%	411,824	8%	(1,019,709)	-10%

### 2.2.2 Superficies edificadas.

Al mismo tiempo que la expansión de la agricultura está el crecimiento de la población y los niveles crecientes de urbanización para la RGC (Figura 2.4). La urbanización, el proceso a través del cual un gran número de personas se concentra permanentemente en áreas relativamente pequeñas, formando ciudades (ONU 1997), es un indicador demográfico clave que tiene profundos impactos en la cobertura y el uso de la tierra, los usos del agua y los ciclos biogeoquímicos a nivel local y regional. escalas (Talaue-McManus 2010, Seto et al 2010,). A pesar de una desaceleración proyectada en el crecimiento de la población de 1950 a 2050, la RGC se está urbanizando rápidamente: las subregiones 1, 3 y 5 alcanzarán más del 84-90%, y las subregiones 2 y 4 alcanzarán el 73% y el 67%, respectivamente, para 2050 De hecho, la RGC, junto con el resto de América Latina, tiene las tasas de urbanización más altas del planeta (Guzmán et al., 2006; Barragán y Andrés, 2015).

Tanto las tasas de aumento de población como de urbanización tienen implicaciones significativas para la creciente demanda de suministro de alimentos y agua, saneamiento y manejo de residuos sólidos, entre otros. Para los pequeños territorios insulares y estados de la región, la finitud de los recursos terrestres y las instalaciones para sustentar una población en crecimiento y urbanización, y la proximidad a los ecosistemas costeros y marinos, plantean serios desafíos de sostenibilidad, incluidas las emisiones de

desechos domésticos no tratados o mínimamente tratados que contribuyen significativamente a la contaminación por nutrientes y patógenos (ver la Sección 2.4 sobre desechos domésticos).

Uno de los impactos biogeoquímicos más graves de la urbanización es el aumento de las superficies edificadas que son impermeables a la infiltración del agua, lo que provoca flujos rápidos de sedimentos y residuos tanto de las zonas altas como de las zonas costeras bajas. Estos resultados fluyen en pulsos episódicos de material hacia los humedales, estuarios y ecosistemas marinos a través de la escorrentía. A partir de finales de la década de 1970, los estudios han comenzado a registrar la degradación visible de los ecosistemas acuáticos a medida que alrededor del 10% de la tierra de la cuenca circundante se vuelve impermeable (Klein 1979; Schueler y Holland 2000; Beach 2002). En la Región del Gran Caribe, los estados y territorios insulares son especialmente vulnerables a la pérdida de paisajes naturales a medida que aumentan las superficies pavimentadas. Utilizando los datos espaciales de la base de datos V3.0 de la RNPRSAP, las extensiones forestales, agrícolas y urbanas de cada país y territorio de la Región del Gran Caribe, la Tabla 2.3 muestra que 17 de las 25 islas de la Región del Gran Caribe han superado el umbral del 10% de sustratos construidos, lo que pone a los ecosistemas acuáticos, incluidas las aguas costeras circundantes, en riesgo de degradación de la calidad del agua como consecuencia de la disminución de la capacidad de filtración de los sustratos naturales y agravada por el transporte más rápido de los contaminantes transmitidos por el agua como escorrentía a través de las superficies impermeables.

El siglo actual ha sido denominado el Siglo de la Ciudad, ya que, a nivel mundial, los habitantes urbanos superaron a los residentes rurales a partir de 2008 (Seto et al. 2010). Los cambios demográficos y económicos de desarrollo en el Gran Caribe han cruzado durante mucho tiempo el rubicón de la urbanización décadas antes de que lo hiciera el mundo en general, y tal vez cosechando consecuencias tanto positivas como negativas de la expansión urbana no planificada. Para el medio ambiente, se necesita un enfoque prospectivo a largo plazo para mantener el bienestar ecológico, social y económico en la urbanización de los entornos costeros e insulares continentales, especialmente en lo que respecta a la gestión de los desechos domésticos y los nutrientes y patógenos liberados al medio ambiente cuando se gestionan mal.

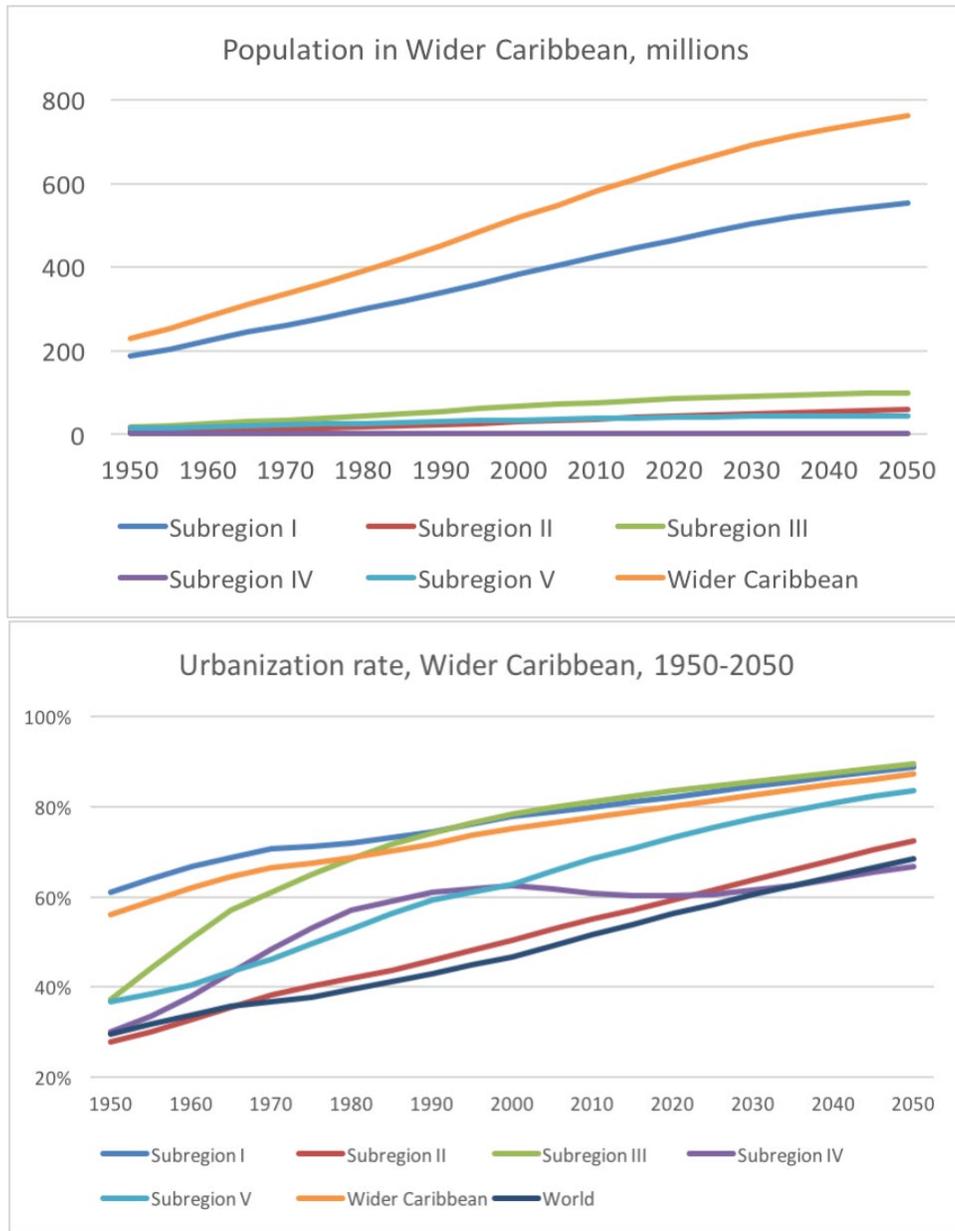


Figura 2.4 Tendencias de población (A) y urbanización (B) en la RGC. (Heileman y Talaue-McManus et al, 2020; Fuente de datos de entrada: Perspectivas de urbanización mundial de la ONU 2018.

Tabla 2.3 Áreas de bosques, tierras de cultivo, pastizales y extensiones urbanas como porcentaje del área de cuencas hidrográficas que drenan la RGC en cada país y territorio de la base de datos RNPRSAP, que es una compilación de datos espaciales derivados de HydroAtlas (Linke et al. 2019). Las islas con resaltado naranja indican aquellas con superficies impermeables más allá del umbral del 10%. Las cuencas hidrográficas individuales en riesgo pueden identificarse utilizando este indicador y complementarse con datos empíricos o modelados sobre la calidad del agua. Algunos países tienen porcentajes totales que superan el 100%, lo que refleja estimaciones superpuestas de estas características de la tierra, cada una de las cuales está respaldada por un producto de datos

que se procesó para crear una base de datos mundial de cuencas hidrográficas armonizada e internamente coherente.

RGC Subregión	País/ Territorio	País IsoCódigo	Porcentaje área de cuenca RGC				Área de cuenca hidrográfica RGC (km <sup>2</sup> )
			Extensión cobertura forestal (2000)	Extensión de tierras de cultivo, (2000)	Extensión de pastos, (2000)	Extensión urbana, (2015)	
I	México	MEX	30%	21%	35%	1.5%	1,055,320
I	E.E.U.U.	USA	28%	32%	31%	2.1%	4,385,834
II	Belice	BLZ	73%	5%	2%	0.5%	22,443
II	Costa Rica	CRI	79%	6%	41%	1.9%	24,435
II	Guatemala	GTM	62%	14%	24%	3.6%	85,186
II	Honduras	HND	65%	11%	12%	1.4%	93,686
II	Nicaragua	NIC	59%	18%	43%	1.0%	116,682
II	Panamá	PAN	72%	2%	20%	1.0%	21,976
III	Colombia	COL	54%	4%	29%	1.1%	717,417
III	Guayana Francesa	GUF	97%	0%	0%	0.1%	83,698
III	Guayana	GUY	90%	2%	6%	0.1%	210,097
III	Surinam	SUR	95%	0%	0%	0.2%	147,973
III	Venezuela	VEN	53%	4%	21%	0.9%	918,147
III	Brasil-LME17	BRA	75%	1%	10%	0.1%	4,897,474
III	Países Bajos - Aruba	ABW	4%	0%	49%	44.0%	204
III	Países Bajos - Bonaire	BES	33%	2%	31%	2.5%	379
III	Países Bajos - Curacao	CUW	20%	1%	35%	23.0%	490

**Tabla 2.3 (continuación)**

RGC Subregión	País/Territorio	País Código Iso	Porcentaje área de cuenca RGC				Área de cuenca hidrográfica RGC(km <sup>2</sup> )
			Extensión de la cubierta forestal,(2000)	Extensión de tierras de cultivo,(2000)	Extensión de pastos,(2000)	Extensión urbana,(2015)	
IV	Anguilla	AIA	0%	2%	23%	5.9%	112
IV	Antigua y Barbuda	ATG	49%	2%	23%	11.1%	512
IV	Barbados	BRB	5%	8%	2%	38.9%	463
IV	British Virgin Islands	VGB	18%	2%	23%	15.1%	463
IV	Dominica	DMA	5%	3%	1%	2.1%	798
IV	Granada	GRD	39%	21%	4%	18.0%	355
IV	Guadalupe	GLP	48%	2%	22%	13.7%	1,777
IV	Martinica	MTQ	19%	3%	1%	16.5%	1,219
IV	Montserrat	MSR	62%	2%	23%	0.0%	115
IV	San Cristóbal y Nevis	KNA	40%	2%	23%	15.4%	302
IV	Santa Lucía	LCA	36%	3%	1%	12.1%	662
IV	San Vicente y las Grenadines	SVG	30%	3%	1%	12.7%	535
IV	Trinidad y Tobago	TTO	67%	26%	2%	13.8%	5,365
IV	Islas Vírgenes (U.S.)	VIR	2%	2%	23%	19.0%	250
V	Cayman Is	CYM	74%	13%	13%	11.3%	335
V	Turks and Caicos	TCA	2%	9%	36%	1.6%	1,182
V	Bahamas	BHS	25%	5%	21%	1.0%	15,869
V	Cuba	CUB	23%	39%	24%	2.8%	114,757
V	Dominican Republic	DOM	29%	33%	43%	5.7%	48,407
V	Haiti	HTI	8%	42%	19%	11.9%	27,906
V	Jamaica	JAM	35%	26%	21%	13.8%	11,250
V	Puerto Rico	PRI	21%	10%	20%	28.9%	9,269

## 2.3 Fuentes de agroquímicos

La conversión de bosques en tierras agrícolas y la construcción no planificada de extensiones urbanas alteran de forma natural el ciclo de los nutrientes en las cuencas hidrográficas, así como su destino y transporte a través de la tierra y de los ecosistemas acuáticos, incluso hasta las aguas costeras aguas abajo. La aplicación excesiva de productos agroquímicos, sustancias que intervienen en el crecimiento de las plantas y los animales de granja, en forma natural o sintética, agrava estos usos modificados de la tierra (<https://www.encyclopedia.com/environment/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/agricultural-chemicals>). Pueden dividirse a grandes rasgos en dos categorías: los productos químicos que promueven el crecimiento de las plantas o los animales (por ejemplo, los fertilizantes para plantas y los complementos alimenticios para animales, incluidas las hormonas del crecimiento); y los que presumiblemente protegen a los organismos cultivados de otros organismos no deseados (por ejemplo, los pesticidas, los herbicidas, las vacunas para animales y los antibióticos). Este informe se centra en los fertilizantes y plaguicidas nutritivos, que son en su mayoría productos químicos sintéticos utilizados habitualmente en la agricultura y que son los que más contribuyen a la contaminación por nutrientes.

### 2.3.1 Eficiencia en el uso de fertilizantes sintéticos y nutrientes

Durante un período de casi seis décadas, desde 1961 hasta 2018, las tierras de cultivo entre los países de la RGC aumentaron de 2,5 millones de km<sup>2</sup> a casi 2,8 millones de km<sup>2</sup>, ocupando solo el 12% de la superficie total nacional en el último año de datos. Utilizando los datos espaciales más recientes referenciados al año modelo 2000, las tierras de cultivo constituyen el 14% de las cuencas hidrográficas agregadas que drenan la RGC (Base de datos RNPRSAP V3.0). Actualmente, los países de América Latina y el Caribe contribuyen con el 14% de la producción mundial de alimentos y el 23% de las exportaciones agrícolas y pesqueras. Se prevé que estas contribuciones aumenten a más del 5% para el año 2028 (OCDE-FAO, 2019). Una pregunta importante es el alcance de las compensaciones ambientales que estos aumentos ocasionarán, además de los problemas de inseguridad alimentaria y pobreza para muchos hogares agrícolas en la región (Flachsbarth et al. 2015).

Los fertilizantes y plaguicidas son insumos importantes en la agricultura con el objetivo explícito de impulsar la producción de cultivos. Al mismo tiempo, sirven como grandes perturbaciones importantes en el ciclo biogeoquímico natural de la biomasa dada la enorme cantidad de adiciones antropogénicas a la biosfera. El Anexo 2.2 detalla el nitrógeno (Panel A) y uso de fertilizantes de fósforo (Panel B) entre los países de la RGC de 1961 a 2018. Para los países continentales de las subregiones I, II y III, hubo un aumento aparente en la aplicación de fertilizantes durante este período. Entre los estados insulares, las tasas de aplicación a lo largo del tiempo fueron más variables, pero en ocasiones excedieron en gran medida el uso por unidad de área de sus contrapartes más grandes. En el caso de Cuba, el colapso de la Federación Soviética a principios de la década de 1990 redujo drásticamente el uso (Messina y Royce, 2019). Para Puerto Rico, la erosión de la agricultura con una serie de políticas que inclinaron el desarrollo de la isla hacia la manufactura a partir de la década de 1940 (Nagovitch 2020), afectó en gran medida el acceso y uso de agroquímicos. Sotomayor-Ramirez et al (2013) muestra una disminución dramática en el consumo total de fertilizantes mixtos para Puerto Rico, se explica mejor por la disminución de la superficie

de tierras agrícolas en su mayor parte, y por la disminución de la aplicación de fertilizantes en menor medida. Para el año modelo 2000, fertilizante N y P total aplicado a 1.945.477 km<sup>2</sup> de las tierras de cultivo en las cuencas hidrográficas de la RGC (excluidos los pastizales) alcanzó 10,450,000 toneladas y 3,830,000 toneladas, respectivamente. De este tonelaje, solo el 60% (promedio ponderado por área de tierras de cultivo) se utiliza para sintetizar biomasa vegetal, y el resto fluye a las aguas superficiales y subterráneas, fertilizando plantas, grandes y pequeñas, flotantes y adheridas a niveles que colocan a estos ecosistemas acuáticos y a las personas en riesgo.

En conjunto para la región de la RGC, este informe tiene como objetivo estimar aún más en qué medida el uso total y acumulativo de fertilizantes nutritivos ha contribuido a la carga de contaminación en los ecosistemas terrestres y acuáticos de la región.

Un indicador importante que se ha diseñado para responder cuantitativamente a la contribución de la aplicación de fertilizantes al aumento del rendimiento agrícola, así como a la contaminación por nutrientes, es el uso de índices denominados eficiencias de uso de nutrientes. La eficiencia en el uso de nutrientes se define como la proporción del nutriente aplicado de todas las fuentes que es tomado por el cultivo cosechado (IFA et al 2016). Por convención, las eficiencias de uso de nutrientes se refieren al nitrógeno o al fósforo. Para la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE), la publicación más completa se centra en los flujos de nitrógeno en relación con el rendimiento de los cultivos para 105 países desde 1961 hasta 2009 (Lassaletta et al. 2014). La eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE) se define como la relación entre el rendimiento anual en la producción de cultivos y la cantidad de nitrógeno nutritivo anual en kg de insumos aplicados por ha de cultivo:

***Eficiencia de uso de nitrógeno, NUE = (cosecha anual cosechada en KgNha- 1 año- 1) / Insumos anuales [fertilizante de N sintético + fijación simbiótica de N, + aplicación de estiércol + deposición atmosférica] a las tierras de cultivo (Ecuación 1.0)***

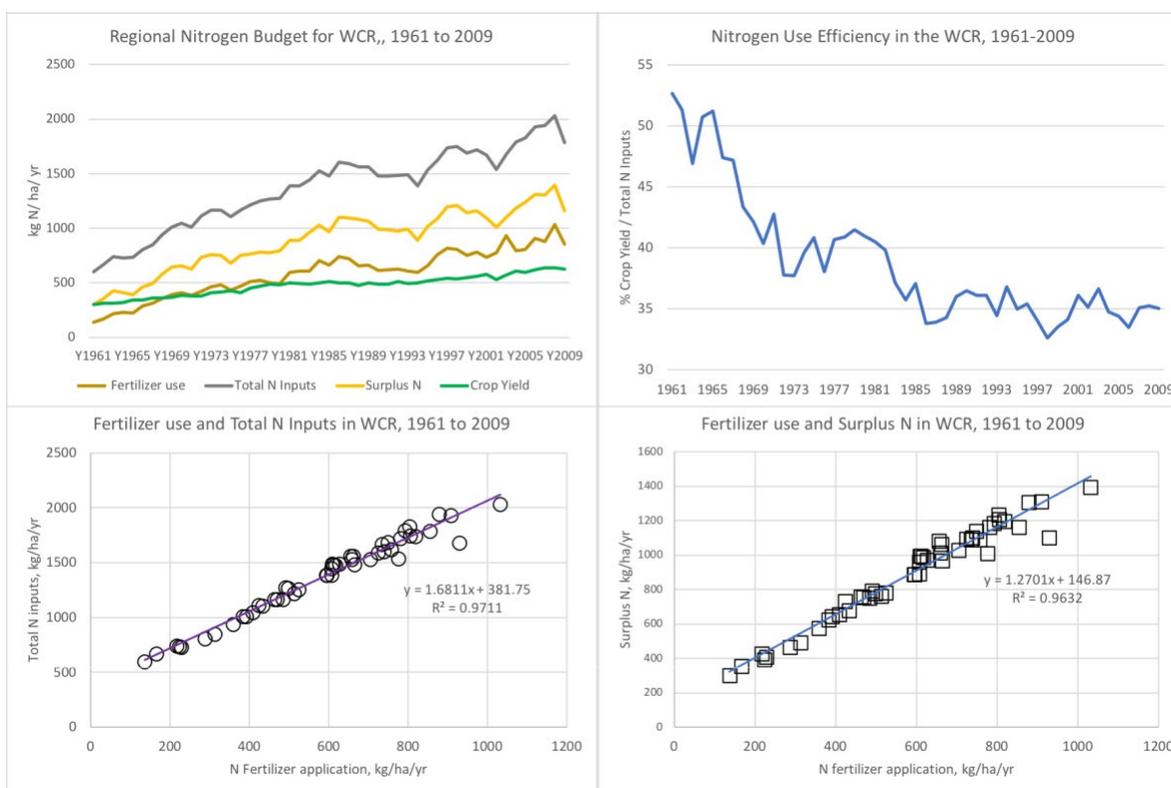
En el caso del fósforo, Lun et al. (2018) definieron la Eficiencia en el uso de fósforo (PUE) de la siguiente manera:

***Eficiencia en el uso de fósforo (PUE) del sistema agrícola y de sus subsistemas = P total cosechado en productos económicos como cultivos, carne, leche y huevos / Insumos totales de P [Fertilizantes de P para tierras de cultivo, P de la roca fosfórica extraída, deposición atmosférica de P en áreas de tierras de cultivo y pastos] (Ecuación 2.0)***

Estos dos estudios principales proporcionan datos para estimar la escorrentía de nutrientes de las tierras de cultivo en el caso del nitrógeno, y tanto de las tierras de cultivo como de los pastizales en busca de fósforo. La eficiencia del uso de nitrógeno se sustenta en la respuesta del rendimiento de los cultivos a los aportes totales de nitrógeno, siendo el fertilizante N sólo uno de los aportes según se define en la Ecuación 1.0 anterior. Por lo tanto, no se estima la escorrentía de N de los pastizales.

El Anexo 2.3 proporciona un análisis detallado de la eficiencia del uso de nitrógeno a escala de país de la RGC utilizando datos de entrada de Lassaletta et al. (2014). Los componentes de eficiencia de uso como los insumos, el rendimiento de los cultivos y el exceso de N (es decir, la escorrentía) se muestran a escala RGC (regional) en la Figura 2.5.

La Figura 2.5 (A) muestra las tendencias crecientes en fertilizantes nitrogenados y aportes totales de N desde 1961 hasta 2009. En respuesta, el rendimiento de los cultivos aumenta, pero no de manera proporcional. Debido a este rendimiento desproporcionado, las tierras de cultivo acumulan un exceso o excedente de nitrógeno que está disponible como escorrentía de N de las tierras de cultivo. Al graficar la relación entre el rendimiento y las entradas totales de N, se muestra que esta relación, también conocida como eficiencia en el uso de nitrógeno, en realidad disminuye exponencialmente con el tiempo (Figura 2.5B). Lo que los cultivos no asimilan de la síntesis de biomasa vegetal de entrada de N se vuelve disponible como exceso de carga de nutrientes y se transporta a los ecosistemas acuáticos y al agua subterránea como N escorrentía (Figura 2.5A - N excedente (línea naranja)). Entre los aportes de N, los fertilizantes dominan e impulsan las tendencias crecientes tanto de los aportes totales de N como del exceso de nitrógeno. Matemáticamente, la variación en las tasas de aplicación de fertilizantes explica el 97% del aumento lineal en las entradas totales de N y explica el 96% del aumento lineal en la escorrentía de N (Figuras 2.5C y 2.5D). Se estimó que la escorrentía de N en las tierras de cultivo para el año modelo 2000 fue de 12,009 mil toneladas en toda la región, con la Subregión I representando el 83% de las emisiones, y se basa exclusivamente en las eficiencias en el uso de las tierras de cultivo, sin tener en cuenta otras pérdidas de nitrógeno.



**Figura 2.5** Papel de los fertilizantes nitrogenados en el presupuesto regional de N de la RGC y generación de excedentes de N como carga de fuente potencial de nutrientes para el período 1961 a 2009. A. Los flujos de nutrientes principales (aportes totales de nitrógeno, fertilizantes y exceso de nitrógeno) aumentan durante el período de estudio. El rendimiento de los cultivos también aumenta, pero no de manera proporcional. La Eficiencia en el Uso de Nitrógeno (NUE) (B), que es el rendimiento de los cultivos de N sobre los Insumos Totales

de N, de hecho, muestra una tendencia que disminuye exponencialmente con el tiempo. Esta eficiencia decreciente conduce a un aumento del exceso de N, que es la carga potencial de nutrientes contaminantes.

En el caso del fósforo, Lun et al. (2018) estimaron las eficiencias de uso de P por separado para tierras de cultivo, pastos y ganado, conscientes de los complejos flujos e intercambios de fósforo a través de estos subdominios de un sistema agrícola. Además, su estudio proporcionó estimaciones de escorrentía de P de tierras de cultivo y pastizales para los países de la RGC, que este informe escaló a las cuencas hidrográficas que drenan la RGC utilizando estimaciones espaciales de tierras de cultivo y pastizales en la base de datos del RNPRSAP para el año modelo 2000 (Linke et al 20190). Los datos calculados se presentan por país / territorio en el Anexo 2.4, junto con la escorrentía de N de las tierras de cultivo. La Tabla 2.4 a continuación resume los datos por subregión de la RGC. En el año modelo 2000, se estimó que alrededor de 667 mil toneladas de P habían sido emitidas por tierras de cultivo y pastizales en toda la región.

Las estimaciones anteriores asumen una aplicación del 100% en la superficie estimada de tierras de cultivo en las cuencas hidrográficas de la RGC que cubren 1,94 millones de km. 2 (Tabla 2, Base de datos RNPRSAP). Se pueden establecer restricciones adicionales sobre las estimaciones de la escorrentía contabilizando las pérdidas en formas gaseosas en el caso del nitrógeno y la adsorción en sedimentos no agrícolas en el caso del fósforo. La conclusión inequívoca es que los fertilizantes se usan con casi un 40% de desperdicio en el RGC, porque la aplicación excede con creces las eficiencias de uso de nutrientes de los cultivos, generando un exceso de nutrientes que se convierte en cargas contaminantes. Los promedios ponderados de la eficiencia del uso de las tierras de cultivo en la RGC son del 57% para N y del 58% para P para el año modelo 2000. Reducciones de ahorro en el uso de fertilizantes **por 40%** no solo ahorraría dinero y mano de obra, sino que también, y lo que es más importante, conservaría ecosistemas invaluable. Nada podría ser más convincente que esta situación en la que todos ganan si se quiere que la agricultura sea sostenible para los alimentos y el planeta.

**Tabla 2.4 La escorrentía de P tanto de las tierras de cultivo como de los pastizales y la escorrentía de N de las tierras de cultivo se estiman para la cuenca de la RGC agregada a escala subregional. Las estimaciones de excedente de N se basan en el rendimiento del cultivo, de modo que no se aborde la escorrentía de N de los pastizales.**

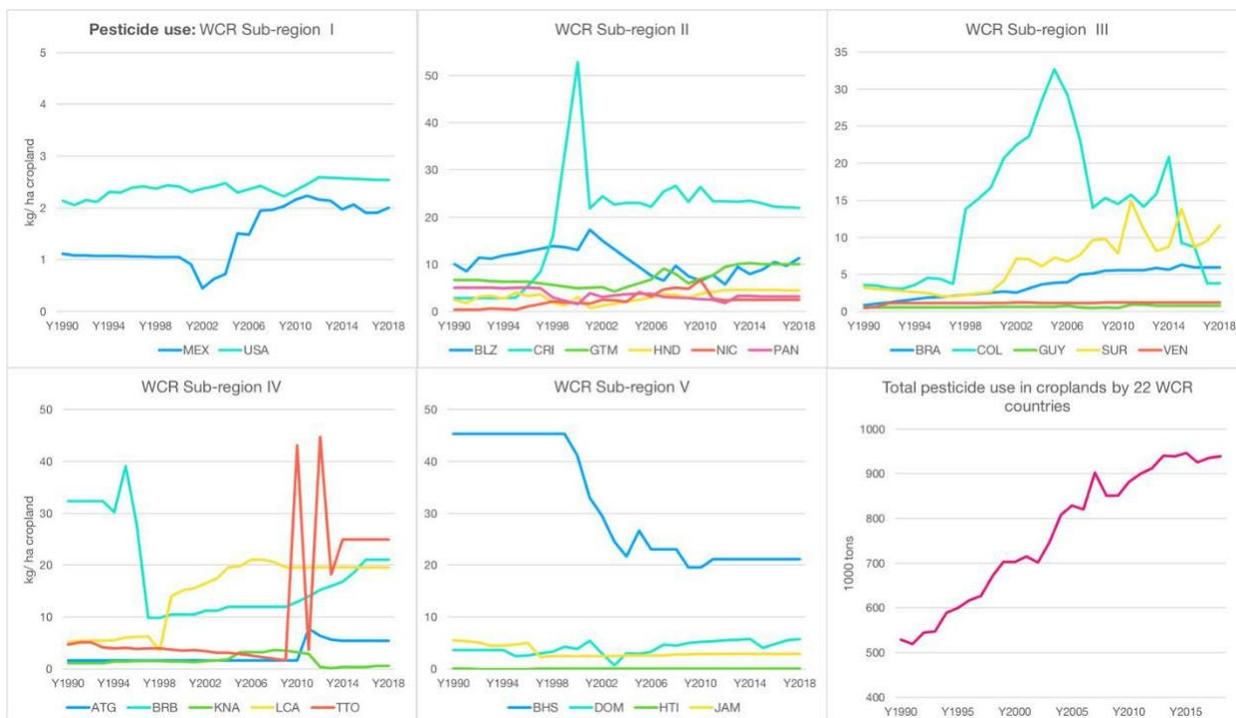
Año modelo 2000	Tierras de cultivo, km <sup>2</sup>	Pastos km <sup>2</sup>	Escorrentía P Tierras de cultivo toneladas	Escorrentía P Pasto toneladas	Total Excedente P, 10 <sup>3</sup> toneladas	Excedente N de escorrentía, 10 <sup>3</sup> toneladas
Subregión I	1,634,238	1,740,175	473,284	35,792	514	9,978
Subregión II	46,466	95,529	8.873	6.031	15	305
Subregión III	134,096	924,159	49,931	45,031	95	1,140
Cuencas del Amazonas (Bolivia,	51,655	333,868	10	10	21	264

Ecuador, Perú)						
Subregión IV	2.549	4.223	1,504	343	2	<b>Sin datos</b>
Subregión V	76,431	58.836	13,176	7.398	21	321
<b>Total RGC</b>	<b>1.945.435</b>	<b>3.156.790</b>	<b>546,779</b>	<b>94,605</b>	<b>667</b>	<b>12,009</b>

### 2.3.2 Insumos de plaguicidas

Junto con los fertilizantes, se han formulado y aplicado en las tierras de cultivo de RGC productos químicos que matan organismos no deseados, como herbicidas para eliminar malezas no deseadas, fungicidas y bactericidas para matar microbios no deseados e insecticidas para eliminar las plagas de insectos en los cultivos, con el objetivo de proporcionar campos nutritivos donde se cultiven cultivos. podría cultivarse a tasas máximas. Un cóctel similar de productos químicos se utiliza para el ganado, principalmente en forma de antibióticos, para controlar enfermedades e infecciones. Para este informe, se hace un esfuerzo consciente para examinar el uso de plaguicidas en las tierras de cultivo de la RGC para las cuales existe un respaldo de datos de 30 años de FAOSTAT hasta la fecha.

**La Figura 2.6** Uso de plaguicidas totales (kg / ha / año) por país de 1990 a 2018 (FAOSTAT) en kg por hectárea de cultivo. En las cinco subregiones de RGC, las altas tasas de uso por países en todas excepto la subregión I, se destaca. El último gráfico de la Figura 2.6 muestra un aumento de casi el 80% en el volumen total de plaguicidas para los 22 países, alcanzando 940.000 toneladas de plaguicidas totales en 2018.



**Figura 2.6 6 Las tasas totales de aplicación de plaguicidas (kg por hectárea de tierra de cultivo) para el período 1990 a 2018 se muestran para 22 estados y territorios continentales e insulares de la RGC con datos en FAOSTAT (tasas de aplicación a escala de país). El último gráfico muestra un uso creciente a lo largo del tiempo en todas las tierras de cultivo durante el período informado. Los plaguicidas totales incluyen herbicidas, fungicidas, bactericidas e insecticidas.**

Las altas tasas de uso por área entre los países de la RGC, especialmente los pequeños estados insulares, se muestran en la Figura 2.7, que muestra los 10 principales usuarios mundiales de los países, no por un solo año, sino promediados durante el período de monitoreo de 28 años. Los 10 principales usuarios de plaguicidas incluyen las Bahamas (#1). Costa Rica (#2), Barbados (#3), Santa Lucía (# 5) y Colombia (# 7). Además de las altas tasas de aplicación, la FAO (2) 19) informa que se acumulan existencias de plaguicidas en deterioro y obsoletos. Aproximadamente 300 toneladas de estos han sido retirados de manera segura de once países que participan en el proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial sobre "Eliminación de plaguicidas obsoletos, incluidos contaminantes orgánicos persistentes (POPS), promoción de alternativas y fortalecimiento del manejo de plaguicidas en el Caribe". Este proyecto, que se llevó a cabo de 2016 a 2020, supervisó los envases de plaguicidas desechados como una grave amenaza en la contaminación de los alimentos o el agua que se almacenan en estos contenedores.

La tabla 2.5 muestra el desglose por países de las tasas de uso para 2000 y 2018 y el uso total, en las tierras de cultivo de la cuenca de drenaje de RGC para el año modelo 2000. Una métrica que permita una determinación genérica de las cargas contaminantes basada, por ejemplo, en la eficacia de los insumos de plaguicidas. Este indicador está muy matizado por los atributos hidrológicos y geofísicos de los lugares de aplicación, el ciclo de vida de las especies objetivo. Para complicar aún más las evaluaciones de este indicador, habría que tener en cuenta los requisitos legales relativos a la dosis, la forma de aplicación y las condiciones ambientales durante y después del momento de la aplicación.

Por ello, para este informe, los autores no estimaron los flujos de plaguicidas hacia los compartimentos del ecosistema basándose en la eficiencia de uso y en los aportes de plaguicidas. Los estudios de caso que se presentan a continuación sirven para mostrar el transporte y la asimilación de los plaguicidas en el suelo, la atmósfera, el agua y los sedimentos, así como en los organismos, que ponen de manifiesto lo insidiosas que pueden ser las consecuencias del uso de plaguicidas. Hay que tener en cuenta que las normas de salud pública existentes suelen regular las cantidades de plaguicidas en relación con el consumo de los cultivos, pero no regulan los impactos de los plaguicidas en los servicios de los ecosistemas, como los impactos en la salud del suelo y el bienestar de los trabajadores agrícolas.

Méndez et al (2018) documentaron las vías de un herbicida diurón, un nematicida ethoprosfos y un fungicida (epoxiconazol), que se utilizan en el cultivo de banano en Costa Rica. Diuron mostró la mayor transferencia con el 20% de las emisiones anuales a las áreas aguas abajo a través de la escorrentía. Los tres plaguicidas ocurrieron en niveles similares o más altos en suelos y sedimentos que sus concentraciones en el agua. Para todos los productos químicos, sus concentraciones en la fruta estaban por debajo de los estándares de la UE y EE. UU. Para Límites Máximos de Residuos (MRL). Estos estándares protegen a los consumidores de banano, pero no brindan ninguna protección al ecosistema donde se cultivan los bananos, ni a los propios agricultores que están en riesgo de exposición química.

El caso de Guadalupe muestra la naturaleza persistente de los plaguicidas organoclorados (OC) en la contaminación a largo plazo de los ecosistemas terrestres y acuáticos. El uso de plaguicidas OC, en particular clordecona, se introdujo en la isla en la década de 1970 para controlar el gorgojo del banano en las fincas de monocultivos bananeros en Guadalupe. La sustancia química fue prohibida en 1993, unos 25 años hasta la fecha. Coat et al (2011) examinaron los gremios tróficos para determinar el nivel de contaminación de la biota de los arroyos en relación con sus interacciones tróficas. El estudio encontró una red alimentaria muy contaminada que incluye herbívoros, detritívoros, omnívoros y carnívoros, con niveles de OC entre los más altos detectados hasta ahora para los ecosistemas de agua dulce: las concentraciones promediaron 51  $\mu$  gramo  $kg^{-1}$  peso húmedo para moluscos hasta 219  $\mu$  gramo  $kg^{-1}$  para pescado. Se encontró que el plancton de la desembocadura del río era el componente de presa más contaminado en el arroyo y las muestras marinas mostraron concentraciones de clordecona ligeramente más bajas. Carbit y col. (2016) encontraron que el transporte del suelo al río a través de las aguas subterráneas era una vía de transferencia importante para la clordecona, que representa el 2% de las existencias de plaguicidas del suelo. Este estudio estimó que se necesitarían al menos 50 años para eliminar la sustancia química acumulada en el suelo.

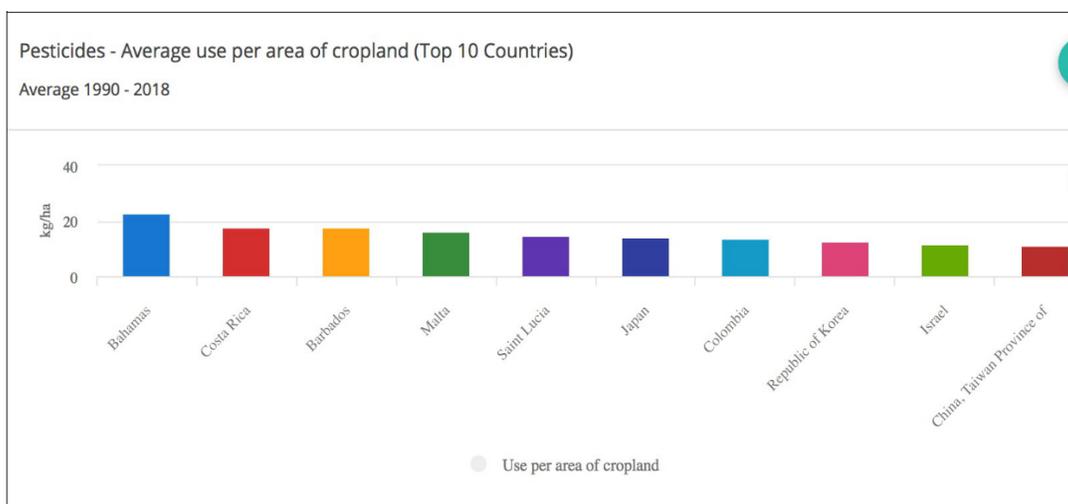


Figura 2.7 Los 10 países principales con las tasas más altas de aplicación de plaguicidas en promedio durante el período de monitoreo de 28 años desde 1990. Cinco pertenecen a la región de la RGC: Las Bahamas (#1), Costa Rica (# 2), Barbados (#3), Santa Lucía (#5) y Colombia (# 7). Los promedios anuales de las tasas regionales (como media simple no ponderada entre los países de la RMC cada año) se representan en Figura 2.5B. (Fuente: FAO ESS <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize>).

Tabla 2.5 Tasas de aplicación de plaguicidas entre los estados continentales e insulares de la RGC. Se destacan entre las tasas más altas de plaguicidas reportadas en el mundo, con cinco países de la región que permanecieron entre los 10 principales usuarios de plaguicidas por hectárea de tierra de cultivo en 2018 (Estadísticas de la FAO sobre el uso de plaguicidas en la agricultura, 1990-2018). La última columna de esta tabla proporciona estimaciones del total de plaguicidas en toneladas para tierras de cultivo en la RGC drenando cuencas de la región para el año 2000.

Subregión RGC	País/ Territorio (Isocódigo-3-alpha)	País/ Territorio	Pesticida Tasa de Aplicación (kg por ha tierra) (Y2000)	Tasa de solicitud de Pesticida (kg per ha tierra) (Y2018)	Tierras de cultivo en cuencas hidrográficas en RGC (Y2000)	Pesticidas totales en drenajes de cuencas hidrográficas en (toneladas, 2000)
I	MEX	México	1.05	2.00	224,409	23,563
I	USA	Estados Unidos	2.41	2.54	1,409,823	339,767
II	BLZ	Belice	13.09	11.34	1,218	1,594
II	CRI	Costa Rica	52.79	21.99	1,352	7,136
II	GTM	Guatemala	4.93	10.02	11,834	5,834
II	HND	Honduras	3.07	4.51	10,471	3,215
II	NIC	Nicaragua	1.83	2.47	21,080	3,858

II	PAN	Panamá	1.58	3.20	512	81
III	BRA	Brasil	2.56	5.94	67,858	17,372
III	COL	Colombia	16.69	3.82	25,991	43,378
III	GUY	Guayana	0.61	0.76	5,120	312
III	SUR	Surinam	2.63	11.60	641	169
III	VEN	Venezuela	1.16	1.19	34,392	3,989
IV	ATG	Antigua y Barbuda	1.60	5.40	10	2
IV	BRB	Barbados	10.50	21.00	37	39
IV	KNA	San Cristóbal y Nevis	1.47	0.59	6	1
IV	LCA	Santa Lucía	15.19	19.60	20	30
IV	TTO	Trinidad y Tobago	3.50	24.91	1,416	496
V	BHS	Bahamas	41.18	21.17	861	3,544
V	DOM	República Dominicana	3.86	5.74	16,166	6,240
V	HTI	Haití	0.02	0.02	11,705	23
V	JAM	Jamaica	2.48	2.89	2,931	727

En 2002, el PNUMA publicó una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura sobre plaguicidas en América Central y el Caribe. Se necesita una evaluación regional más cuantitativa para determinar formas estratégicas de establecer normas ecológicas que guíen el uso de plaguicidas en el futuro. Colin et al (2020) argumentan que el uso de insecticidas podría reducirse cambiando el enfoque sobre cuánto se necesita para matar una plaga de insectos, a una mentalidad que pregunta cuánto se requiere para proteger un cultivo y los ecosistemas que le permiten crecer en el primer lugar. La prohibición ya no es eficaz a medida que se formulan nuevos insecticidas que reemplazan a los productos químicos prohibidos. Las aplicaciones profilácticas en dosis bajas pueden ser suficientes para eliminar el daño causado por los insectos a los cultivos y, al mismo tiempo, prevenir la acumulación que desencadena la evolución de formas resistentes, todo dentro de una plaga integrada.

Enfoque de gestión que incluye la rotación de cultivos y enfoques de tratamiento alternativo. Lechenet et al (2017) mostraron que, para las granjas comerciales en Francia, la baja aplicación de plaguicidas y la alta productividad de los cultivos y la alta rentabilidad de las granjas eran compatibles entre el 77% de las granjas que estudiaron. Se establecieron como escenarios económicamente viables reducciones del 37, 47 y 60% del uso de herbicidas, fungicidas e insecticidas, respectivamente. Ramakrishnan et al (2019) subrayan la ciencia sólida detrás de los impactos de los pesticidas en la salud del suelo y la diversidad y el funcionamiento del microbioma del suelo que, en última instancia, sustenta la productividad de las tierras

de cultivo. Si no se salvaguardan estos servicios de los ecosistemas y se sigue ignorando los beneficios económicos de reducir en gran medida los insumos de plaguicidas, la agricultura se encaminaría por un camino realmente insostenible de proporciones épicas.

## 2.4 Aguas residuales domésticas y alcantarillado

Las aguas residuales se definen como aguas usadas que se han utilizado para fines domésticos (es decir, municipales), industriales y comerciales (Tuser 2020). Las aguas residuales son las que pasan por un alcantarillado para ser entregadas a una instalación de tratamiento de aguas residuales o a masas de agua receptoras. Las aguas residuales también incluyen la escorrentía de las tormentas que atraviesan las superficies construidas, como carreteras, aparcamientos y tejados.

Las aguas residuales están compuestas por un 99,9% de agua y un 0,1% de residuos, que pueden contener materia orgánica, microorganismos y sustancias inorgánicas. Las aguas residuales se clasifican además por su origen. Las aguas residuales domésticas se producen por el uso de los baños, la preparación de alimentos y el lavado de ropa. Las aguas residuales comerciales son producidas por negocios como salones de belleza o talleres de reparación de automóviles. Las aguas residuales industriales proceden de procesos de fabricación industriales o comerciales, incluida la agricultura.

En este informe, se utilizaron parámetros a escala de cuencas hidrográficas para estimar los flujos de nutrientes de los desechos domésticos no tratados. A diferencia del inventario SOCAR que delimitó una franja costera de 100 km para calcular las aguas residuales, este estudio incluye toda la cuenca hidrográfica independientemente de la distancia a la costa. Esto significa un recuento de población más alto para cuencas hidrográficas enteras que los residentes que viven dentro de márgenes costeros de 100 km para años modelo similares. Por lo tanto, una población agregada a escala de cuencas hidrográficas de 372,180,000 probablemente liberó aguas residuales sin tratar del orden de unos 15 km.  $3$  (1 km  $3$  = 10<sup>9</sup> metro  $3$ ), que contiene 890,000 toneladas de N y 155,000 toneladas de P para el año modelo 2010 (Base de datos RNPRSAP, Linke et al.2019) (Tabla 2.6). Estos valores son conservadores en el sentido de que excluyen las contribuciones de las aguas residuales parcialmente tratadas cuando se descargan en fuentes puntuales, como desagües de aguas residuales.

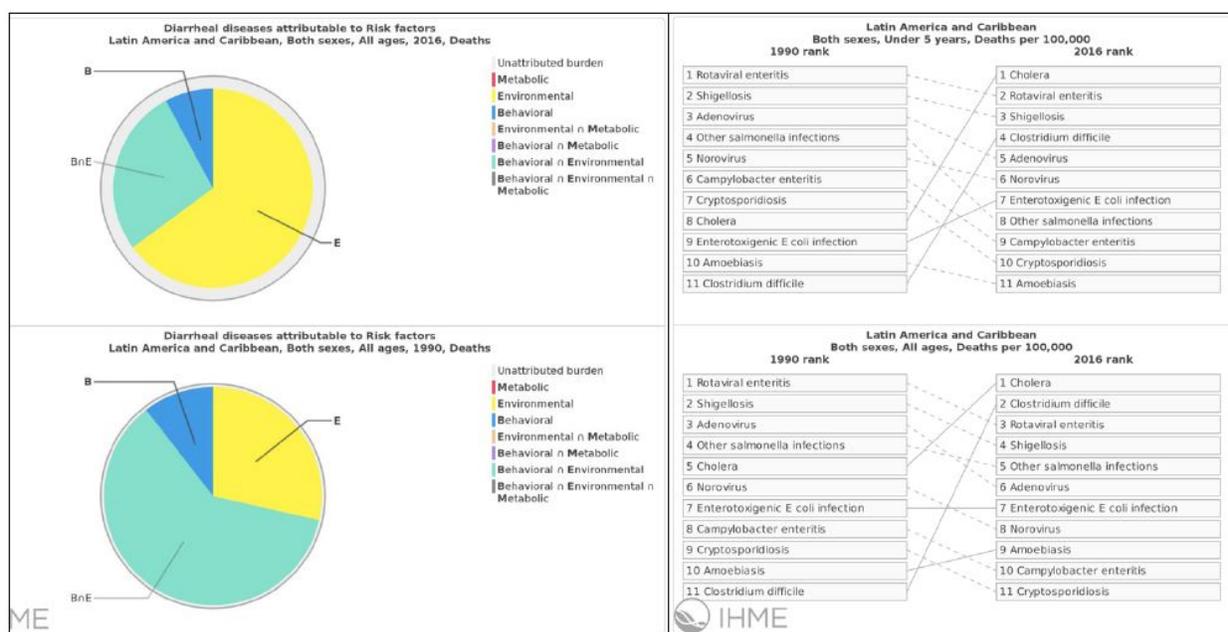
Desgraciadamente, las aguas residuales domésticas no tratadas y el alcantarillado no sólo se suman a la carga de nutrientes que contaminan los sistemas de aguas superficiales y subterráneas. Las aguas residuales contienen vectores de enfermedades o patógenos. La Figura 2.8 (panel superior) muestra el papel cada vez más importante de los factores ambientales (agua no potable, saneamiento y lavado de manos) como causantes de enfermedades diarreicas en la región durante el período 1990 a 2016. El panel inferior indica el aumento de enfermedades como el cólera, la enteritis por rotavirus, y la infección por E. coli enterotoxigénica como una de las principales causas de muerte entre niños y personas de todas las edades (colaboradores de Global Burden of Disease Risk Factors, 2016). Los vectores de estas enfermedades son patógenos de aguas residuales.

Ramirez-Morales et al (2020) destaca otra categoría de efluentes contenidos en las aguas residuales domésticas. Este estudio documentó la presencia de 70 compuestos activos farmacéuticos en plantas de tratamiento de aguas residuales que descargan en agua dulce en Costa Rica y examinó sus niveles de

ecotoxicidad para los organismos de prueba acuáticos y su fitotoxicidad en las funciones de las plantas y el suelo, como la germinación de semillas. Las sustancias químicas detectadas incluyeron antibióticos (36%), analgésicos (21%), fármacos psiquiátricos (15%), estimulantes (6%) y fármacos hipolipemiantes (6%). Veintiuno de los compuestos farmacéuticamente activos detectados mostraron niveles de peligro medio o alto en los efluentes de las plantas de tratamiento. Los compuestos considerados más críticos incluyen risperidona, lovastatina, difenhidramina, trimetoprim y fluoxetina en términos de riesgo ambiental.

**Tabla 2.6 Estimaciones de aguas residuales domésticas en las cuencas hidrográficas agregadas a las subregiones de RGC. La cobertura de datos es del 99% de la población total de la cuenca. [Nota: los datos para el norte de Brasil se han corregido para incluir todas las cuencas hidrográficas que drenan al Gran Ecosistema Marino de la Plataforma Norte de Brasil (NBS LME), incluida la Amazonía legal de Brasil].**

Subregión RGC	Población en área de cuenca drenando en RGC, 10 <sup>3</sup> (2010)	2010 Aguas residuales no tratadas lanzadas al ambiente 10 <sup>9</sup> metro <sup>3</sup> / año	10 <sup>3</sup> toneladas de TN en Aguas residuales no tratadas (2010) (N = 60 g m <sup>-3</sup> )	10 <sup>3</sup> toneladas de TP en aguas residuales no tratadas (2010) (P = 10 g m <sup>-3</sup> )
Subregión I	198.428	5,68	341	57
Subregión II	20,262	0,81	48	8
Subregión III	70,018	4,70	282	47
Norte de Brasil	22,634	0,79	36	13
Cuencas hidrográficas del Amazonas en BOL-ECU-PER	19,298	0.34	20	3
Subregión III Islas	102	0,00	0	0
Subregión IV	3,014	0,18	11	2
Subregión V	38,017	2,45	147	25
<b>Total</b>	<b>372,180</b>	<b>15</b>	<b>890</b>	<b>155</b>



**Figura 2.8** El panel de la izquierda muestra un porcentaje creciente de enfermedades diarreicas atribuidas a factores de riesgo ambiental (agua no potable, saneamiento y lavado de manos) para el período 1990 a 2016 en América Latina y el Caribe. El panel de la derecha muestra que las enfermedades causadas por patógenos de las aguas residuales como el cólera, la enteritis por rotavirus y la infección por E. coli enterotoxigénica han aumentado en el rango de factores de mortalidad durante el mismo período. (Fuente de datos: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>; Colaboradores de factores de riesgo de GBD 2016).

Una población cada vez más urbanizada necesita la provisión de tecnología e infraestructura adecuadas de tratamiento de aguas residuales y aguas residuales domésticas, que pueden eliminar nutrientes y patógenos. Fuhrmeister y col. (2015) examinaron 108 economías de ingresos bajos y medianos y analizaron escenarios de mejora óptima del saneamiento para reducir la contaminación por nutrientes y microbios. Descubrieron que, en el mejor escenario tecnológico, todavía quedaría entre el 20 y el 40% de los contaminantes por tratar. Se necesita un enfoque transformador para el tratamiento de aguas residuales y aguas residuales. Esto se enfocaría en las necesidades de los hogares no solo para la conexión de alcantarillado sino también para la tecnología innovadora de inodoros que separa los desechos sólidos de los líquidos. Cabe señalar que la regulación de la composición de nutrientes de los productos domésticos, como el contenido de fosfato de los detergentes, puede contribuir a reducir la contaminación de las aguas residuales. Jamaica, por ejemplo, adoptó en 2012 una norma medioambiental que solo permite un contenido máximo del 5% de fosfato en peso para los detergentes (Chemical Watch 2012). A escala de la planta de tratamiento, la eliminación de patógenos debe maximizarse y recuperación de agua y nutrientes integrada en una economía circular general de agua y nutrientes, con normas ecológicas y de salud pública complementarias que orienten la reutilización del material recuperado.

## 2.5 Escorrentía urbana (aguas pluviales)

Hasta la fecha, no existe una evaluación sistemática de la escorrentía urbana para la RGC. Los modelos integrados de Beusen et al (2015) y Mayorga et al. (2010) excluyeron la escorrentía urbana en el modelo global porque las superficies urbanas en general tienen una extensión espacial muy limitada que no se pudo resolver con niveles de confianza aceptables utilizando el estándar 0.5 ° X 0,5 ° escala. Dadas las

pequeñas extensiones espaciales o superficies urbanas, la escala de modelado hidrodinámico apropiada sería en cuencas hidrográficas urbanizadas individuales como la utilizada en el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) (Choi y Ball, 2002). Recientemente, se han desarrollado modelos de escorrentía urbana a escala de 40 ha y que pueden cuantificar los beneficios de la reducción de escorrentía y están ayudando a los administradores de escorrentía de tormentas a analizar la eficacia de las acciones de mitigación para que se puedan aplicar ampliamente (Beck et al 2017). A pesar de sus pequeñas extensiones espaciales, la alta concentración de población humana en extensiones urbanas, junto con el aumento de sustratos impermeables, puede servir para amplificar los flujos de nutrientes y contaminantes asociados a las aguas costeras, y que pueden ser perjudiciales para las economías azules de los estados y territorios insulares. Las agencias nacionales de desarrollo urbano deberían proporcionar estimaciones periódicas de las extensiones urbanas y explorar los materiales que pueden utilizarse para los pavimentos que permiten la infiltración, incluyendo el uso de jardines de lluvia y humedales construidos para captar la escorrentía.

## 2.6 Fuentes puntuales industriales

### 2.6.1 Inventario sistemático para el período 1997 a 2008

Se implementó un inventario sistemático de las fuentes industriales puntuales de contaminación por nutrientes que abarca el período 1997 a 2008 y se publicó como el Informe Técnico No. 52 (2010) del Programa Ambiental del Caribe, un documento histórico en el examen de las fuentes terrestres de contaminación marina en la RGC. En este informe se incluye una tabulación a escala nacional de las fuentes puntuales industriales en el Anexo 2.5, cuya forma condensada subregional se muestra en la Tabla 2.7. En esta breve tabulación se destaca la gran demanda de oxígeno de los efluentes y la gran cantidad de sólidos suspendidos totales. Los niveles de nitrógeno y fósforo son similares a la descarga de aguas residuales estimada para NBSLME en 2000. Como fuentes puntuales, los desechos concentrados descargados de manera persistente pueden crear pequeñas áreas de zonas muertas que pueden ser colonizadas por microbios, esencialmente alterando las relaciones tróficas en estas zonas. Es necesario que exista un mecanismo para actualizar las fuentes puntuales industriales cada diez años, al igual que los censos de población, para permitir que tanto la ciencia como la orientación de políticas informen la gestión de la contaminación hacia una reducción oportuna y eficaz de la contaminación por nutrientes. Además, la participación significativa de la industria es un requisito para reducir eficazmente las fuentes puntuales.

**Tabla 2.7 Un resumen a escala subregional de la carga de contaminantes industriales en la RGC para el período 1997 a 2008 (PAC 2010).**

Países y territorios	Carga de contaminantes industriales descargada en RGC (t / año)				
	BOD	COD	TSS	TN	
<i>Subregión I</i>	196249	374072	504462	13410	2444
<i>Subregión II</i>	9,954	21807	5983	659	263

<i>Subregión III</i>	34,288	69,498	86,647	10,768	674
<i>Subregión IV</i>	197,062	353, 883	42,382	1.326	631
<i>Subregión V</i>	52, 117	109, 328	8.525	1, 915	1,287
<b>Total</b>	<b>489.000</b>	<b>928.000</b>	<b>648.000</b>	<b>28.000</b>	<b>5,000</b>

### 2.6.2 Fuentes puntuales de amoníaco industriales y agrícolas (NH<sub>3</sub>)

En 2018, Van Damme et al. reportaron fuentes puntuales de amoníaco industrial y agrícola utilizando un mapeo de alta resolución de amoníaco atmosférico medido diariamente durante un período de nueve años por un interferómetro de sondeo atmosférico infrarrojo basado en satélites (IASI). Este conjunto de datos globales de NH<sub>3</sub> se examinaron los puntos críticos y las regiones emisoras para obtener un inventario relevante para la RGC. La Tabla 2.8 resume las emisiones de amoníaco combinadas por país de los puntos críticos identificados en toneladas de NH<sub>3</sub> por año. En el Anexo 2.6 se proporciona una lista completa de los puntos críticos. Se ha demostrado que la deposición de amoníaco, a través de la deposición seca o húmeda, contribuye a las cargas de nitrógeno que conducen a sistemas acuáticos eutróficos (Sutton y Fowler, 2002; Erisman et al., 2008).

En la RGC, los puntos críticos emisores se clasificaron como agrícolas (es decir, lotes de alimento para ganado intensivo), industrial (NH<sub>3</sub>- plantas de fertilizantes a base de plantas, minas de níquel-cobalto como en Cuba); o no determinada (por ejemplo, Ciudad de México). Los flujos de emisión de amoníaco en ton / año de los puntos críticos ubicados en las cuencas hidrográficas de la RGC para el período 2008-2016 se agregan por país y se proporcionan en la Tabla 2.8. Las emisiones de flujo se calcularon mediante los autores sobre la base de un NH de línea de base 3 vida útil de 12 horas. Los análisis de los cambios horarios y mensuales en las firmas gaseosas respaldaron las estimaciones de flujo anual. Agregado en el país de la RGC para los lugares que se encuentran en cuencas hidrográficas que drenan la RGC, el flujo de amoníaco anual total de casi 123.400 toneladas es de la misma magnitud que la carga de desechos domésticos para la Subregión III en 2000. El amoníaco también se puede depositar en forma de partículas aerosoles, que pueden combinarse con componentes ácidos convirtiéndolos en irritantes en el aire antes de su deposición.

Las regiones emisoras de amoníaco se incluyen en los análisis de Van Damme et al. (2018). Debido a las áreas más grandes involucradas, en el futuro se debe realizar un enfoque de modelado del destino y transporte de nitrógeno gaseoso en lugar de un simple inventario para mejores estimaciones de restricciones. Ninguno de los modelos integrados como los de Beusen et al (2015, 2016) y Mayorga et al (2010) han incluido fuentes puntuales industriales en la estimación de los flujos de nutrientes a diferencia de los desechos domésticos y las aguas residuales. La vida útil variable de las instalaciones industriales y los matices en el funcionamiento y la tecnología son actualmente difíciles de parametrizar en modelos. La incorporación de inventarios periódicos ayudará a llenar este vacío, por lo que es posible que sea necesario diseñar enfoques de evaluación de flujo híbrido para integrar estas fuentes críticas de contaminantes.

**Tabla 2.8 Flujos de amoníaco de fuentes puntuales en la RGC para el período 2008 a 2018 (datos de entrada: Van Damme et al. 2018).**

País	Flujo de emisión de amoníaco toneladas / año						Total
	Puntos calientes	Agricultura	Puntos calientes	Industrial	Puntos calientes	Sin clasificación	
Colombia	1	1.750	1	4.257			6,008
Cuba			2	4.176			
México	10	42,511	3	5.406	1	6.388	54.305
EE.UU.	18	52,927	3	4.363			57,290
Trinidad y Tobago			1	1,009			1,009
Venezuela	1	2.304	2	4.668			6,972
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>99,492</b>	<b>12</b>	<b>23,879</b>	<b>1</b>	<b>6.388</b>	<b>123,371</b>

## 2.7 Polvo del Sahara

El transporte de polvo sobre el Caribe fue reportado por primera vez en la literatura científica en 1970 con polvo recogido en Barbados en 1967, y que fue rastreado a una tormenta de polvo africana (Prospero et al. 1970). El interés por el transporte de polvo a larga distancia se ha mantenido desde entonces debido a su papel potencial en los ciclos biogeoquímicos globales bajo la modulación de los cambios climáticos. En este informe se sintetiza brevemente la información sobre la contribución del polvo del Sáhara a la dinámica de los nutrientes y al transporte de los microbios y sustancias químicas asociadas.

El transporte de polvo desde el norte de África al Caribe es un evento anual con picos en junio-julio. Se estima que 210 Tg Fe llegan al Océano Atlántico a través del transporte de polvo (Jickells et al. 2005). El hierro soluble es esencial como un micronutriente que juega un papel fundamental en el control de la producción de fitoplancton oceánico y que es insoluble en presencia de oxígeno y a niveles de pH superiores a 4 (Jickells et al. 2005). Si bien los aerosoles del Sahara contienen menos hierro soluble que otros aerosoles, el gran volumen de transporte convierte al polvo del Sahara en la principal fuente de producción oceánica (Baker et al. 2006). La presencia de contaminantes ácidos mezclados con polvo sahariano puede ayudar a explicar las bajas cantidades de hierro soluble debido al procesamiento ácido mientras el polvo está sobre el Sahara antes de su transporte al Atlántico (Ravelo-Perez et al. 2016).

Además del hierro soluble, el polvo del Sahara transporta contaminantes orgánicos persistentes, incluidos plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y bifenilos policlorados (PCB) (Garrison et al. 2014). En el estudio se encontraron siete de los 13 pesticidas prohibidos y utilizados actualmente, incluidos clordanos, clorpirifos, dacthal, dieldrin, endosulfán, hexaclorobenceno y trifluralina.

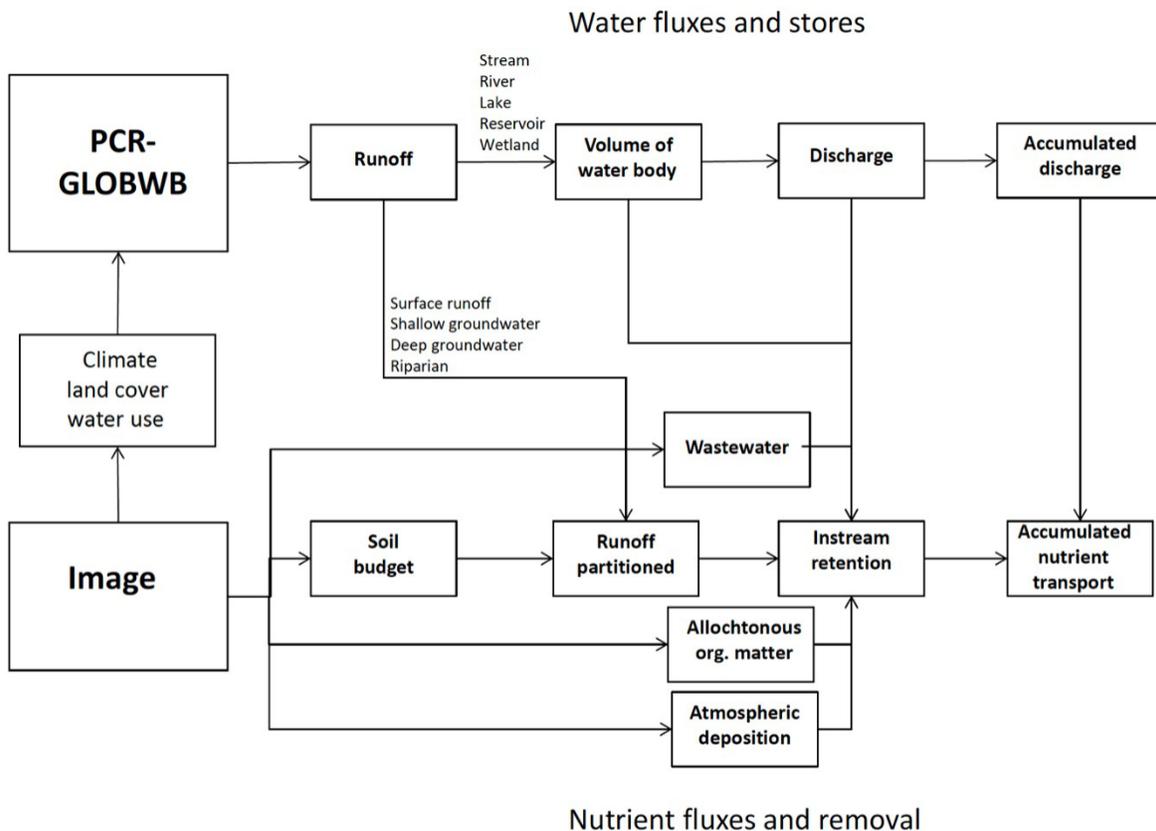
Existe un gran interés en examinar los microbiomas asociados con el polvo del Sahara. Entre los taxones bacterianos aislados estaban: Rhizobiales, Sphingomonadales, Geodermatophilaceae y Bacillaceae (González-Toril et al (2020)). Investigaciones anteriores querían encontrar *Aspergillus sydowii*, el hongo patógeno responsable de las infecciones entre los fanáticos del mar conocido como aspergilosis en el

Caribe (Smith et al. 1996, Garrison et al. 2006). En 2008, la identificación de colonias microbianas a partir de muestras de polvo a nivel de especie mostró la presencia de 7 especies de *Aspergillus* y la ausencia total de *A. sydowii* (Rypien 2008). Los resultados inequívocos exigieron la identificación de microbios a nivel de especie como identificación genérica sería muy insuficiente para establecer la patología de las enfermedades de los corales.

## 2.8 Fuentes de nutrientes utilizando modelos integrados

Los inventarios de fuentes de nutrientes se han presentado en secciones anteriores de este informe. Estos incluyen cálculos basados en la eficiencia del uso de nutrientes de la escorrentía de nutrientes agrícolas, las aguas residuales domésticas y las contribuciones de las aguas residuales y los flujos de emisión de los puntos calientes de amoníaco. En esta sección, los autores utilizan los resultados del Modelo Integrado para Evaluar el Medio Ambiente Global - Modelo Global de Nutrientes (Imagen-GNM por Beusen et al. 2016); y el conjunto de datos derivado de la Exportación global de nutrientes de las cuencas hidrográficas 2 (NOTICIAS 2) de Mayorga et al. (2010) para proporcionar estimaciones de los flujos de nutrientes. El conjunto de datos IMAGE GNM proporciona una predicción retrospectiva de 2000 a 1900, lo que ofrece una visión de un siglo de los cambios en las cargas totales de nitrógeno y fósforo y sus fuentes desde las cuencas hidrográficas hasta las desembocaduras de los ríos. Tenga en cuenta que los parámetros utilizados individualmente en los inventarios, también se utilizan en IMAGE-Global Nutrient Model, como componentes integrados de procesos biogeoquímicos (Figura 2.9). Las interacciones entre estos parámetros son capturadas por el marco de modelado y son esenciales para restringir las estimaciones de carga de nutrientes como netas de retención, remociones y transformación de especies químicas, todo ello durante el transporte. A menudo, las estimaciones del modelo son menores en valor absoluto, pero de un orden de magnitud similar a las estimaciones basadas en inventarios. Para complementar el conjunto de datos IMAGE-GNM, los resultados de los datos de Exportación de nutrientes de las cuencas hidrográficas Modelo 2 (NOTICIAS 2) proporcionan una vista contemporánea de los nutrientes por especies químicas (nutrientes inorgánicos y orgánicos disueltos y sus formas de partículas) y permiten el cálculo de un índice de nutrientes. del potencial de eutrofización basado en los flujos de nutrientes disueltos y sus proporciones. El conjunto de datos IMAGE GNM resolvió un total de 470 cuencas de la RGC y el modelo NEWS proporcionó datos para 261 cuencas de la RGC. Ambos conjuntos de datos están contenidos en la base de datos RNPRSAP V3.0 y los resultados más destacados se resumen aquí.

Los resultados del modelo del modelo IMAGE-GNM se han informado en el informe SOCAR (PNUMA-PAC, 2019). Estos se presentan en este informe para complementar los cambios en el uso de la tierra y los atributos de cobertura discutidos en las secciones anteriores, y para reunir un cuerpo coherente de evidencia de que los flujos de nutrientes en magnitudes contemporáneas representan una seria amenaza para los ecosistemas en la RGC. Como se indicó anteriormente, este informe expande el dominio espacial de la RGC para incluir las cuencas hidrográficas que drenan hacia el Gran Ecosistema Marino de la Plataforma del Norte de Brasil (NBS LME). Hay que tener en cuenta que los modelos globales cubren todo el espacio resoluble con un tamaño de rejilla global estándar de 0,5°, y que el seguimiento empírico nunca coincidirá. Como tales, se pueden utilizar para identificar posibles puntos críticos que pueden convertirse en el foco de programas de seguimiento empírico específicos y medidas de mitigación posteriores.



**Figura 2.9** Marco modelo para estimar las cargas de nutrientes por fuente, neto de los procesos de retención y remoción, y su acumulación en puntos de eventual descarga a las aguas costeras. Tenga en cuenta los parámetros basados en el proceso que se utilizan para transportar nutrientes a través del agua. (Fuente: Beusen et al.2015). PCR-GLOBWB (PCRaster Global Water Balance); IMAGEN (Modelo Integrado de Evaluación del Medio Ambiente Global).

Las fuentes de nitrógeno en una cuenca hidrográfica pueden ser de origen antropogénico, tales como: la deposición atmosférica de formas de N gaseoso como N<sub>2</sub>O de combustibles fósiles y NH<sub>3</sub> de la actividad agrícola industrial o intensiva (Van Damme et al. 2018), la escorrentía de fertilizantes a través de las aguas superficiales y subterráneas; fuentes de aguas residuales domésticas y puntos de alcantarillado, e instalaciones de acuicultura. Las fuentes naturales incluyen vegetación en llanuras aluviales, escorrentías superficiales naturales (es decir, no agrícolas) y flujos de sistemas de aguas subterráneas no agrícolas. En el año modelo 2000, las cuencas hidrográficas de las subregiones I a V recibieron un total de 5.5 Tg (1Tg = 1 millón de toneladas) de nitrógeno, además de las 8.4 Tg N recibidas en las cuencas de captación del LME NBS (Tabla 2.9). El sesenta por ciento de los flujos de N a las subregiones provino de fuentes agrícolas (el 40% del agua subterránea en las tierras agrícolas, el 20% de la escorrentía superficial de las tierras agrícolas (Figura 2.10A), y otro 9% proveniente de las aguas residuales. En marcado contraste, En las cinco subregiones, predominan las fuentes agrícolas, tanto superficiales como subterráneas (Figura 2.10B). En la subregión V, la influencia de las aguas residuales como fuente de N es significativa al 24%. La Figura 2.10D muestra las cargas de nitrógeno descargadas en las desembocaduras de los ríos: el nitrógeno

descargado en NBSLME aumentó en un mero 4% durante un siglo debido al estricto ciclo biogeoquímico que realizan los bosques y los microbiomas asociados del suelo. En contraste, la carga agregada de N descargada para las subregiones aumentó en un 70% durante el mismo período de tiempo.

Para el fósforo, el estado altamente modificado de las cuencas hidrográficas con granjas y pastos en las subregiones I a V, que ocupan el 50% del área de la cuenca en total, explica por qué la escorrentía superficial de las tierras agrícolas representa el 56% de las fuentes totales de P que ascienden a 0,6 Tg en año modelo 2000 (Figura 2.11A, Tabla 2.10). La misma tendencia es evidente a escala subregional excepto en el caso de la Subregión IV donde la meteorización contribuye más (Figura 2.11B). En las cuencas hidrográficas de NBS LME, la fuente dominante de fósforo es la vegetación de la llanura aluvial al 63% (Figura 2.11C). Las cargas de P vertidas entre las cuencas hidrográficas urbanizadas de las subregiones I a V aumentaron en un 42% durante un período de 100 años; los que vaciaban al NBS LME aumentaron su carga en un 11%.

La Figura 2.12 ofrece una vista espacialmente explícita de cómo las fuentes de nutrientes cambiaron en influencia a lo largo del tiempo. El agua subterránea en las tierras agrícolas es una fuente importante contemporánea de contaminación por nitrógeno junto con las fuentes de desechos domésticos a medida que aumenta la población. En el caso del fósforo, la escorrentía superficial agrícola es la que más contribuye junto con las aguas residuales. Cabe señalar que las cargas descargadas tanto de nitrógeno como de fósforo son menores que las correspondientes sumas estimadas de fuentes de nutrientes debido a la retención a lo largo de las orillas y las desembocaduras de los ríos. Los mecanismos de retención de nitrógeno incluyen la desnitrificación, la deposición y la absorción de las plantas, todo lo cual contribuye a mantener la calidad del agua para los sistemas aguas abajo, incluidas las aguas costeras. Cuando los mecanismos de retención son superados por flujos cada vez más pesados, luego se desencadena una cascada de respuestas de los ecosistemas que conducen a cambios consiguientes en la salud de los ecosistemas. Es importante tener en cuenta que la deposición continua crea una piscina conocida como nutrientes heredados que pueden prolongar y mantener períodos de eutrofización y plantear serios desafíos para la mitigación a mediano plazo (Chen et al, 2018). El nitrógeno heredado, en particular, debe estar bien definido en términos de edad y dividido por fuente, como el suelo o las aguas subterráneas, para establecer los objetivos de mitigación de manera adecuada. En el caso de la cuenca del río Mississippi (MRB), Van Meter et al (2016), establecieron que una carga significativa de N por encima de los niveles de línea de base estaba en marcha antes del uso generalizado de fertilizantes nitrogenados, e impulsada por la conversión de bosques y pastizales a tierras de cultivo en hileras agrícolas a mediados del siglo XIX. Aproximadamente el 85% de las cargas anuales actuales de N en el MRB son aportadas por legados del suelo, mayores de 1 año de edad (desde el momento de la deposición / aplicación en la cuenca hasta la carga en la salida de la cuenca), de los cuales más de la mitad provienen de fuentes hechas por mano de obra desde 1960. Estos hallazgos tienen serias implicaciones en la mitigación. Los objetivos a corto plazo para el MRB deben combinar la mayor utilidad de los humedales artificiales para filtrar la escorrentía superficial agrícola a corto plazo, con la reducción a mediano y largo plazo de fertilizantes nitrogenados y el rediseño de las redes de drenaje de baldosas para impedir el transporte de la escorrentía superficial. Los impactos del aumento de la carga de nutrientes se analizan en el Capítulo 3.

**Tabla 2.9 Fuentes de cargas de nitrógeno (en 1000 toneladas de N) para las subregiones I a V de la RGC, excluyendo el LME del norte de Brasil, y que se muestran por separado. Los valores y porcentajes se refieren a las regiones en la Columna 1. (Datos de entrada: Beusen et al. 2016.)**

Fuentes de Nitrógeno Año modelo (2000)	Declaración atmosférica	Vegetación en llanuras aluviales	Escorrentía superficial (agricultura)	Escorrentía superficial (natural)	Agua subterránea (agricultura)	Agua subterránea (natural)	Aguas residuales	Agricultura	Todas las fuentes
<b>SR IV (1000 toneladas)</b>	58	479	1083	64	2,195	799	509	10	5.468
<b>SR IV (%)</b>	1%	14%	20%	1%	40%	15%	9%	0%	100%
<b>NBS LME</b>	22	5494	180	95	211	2384	23	0	8.411
<b>NBS LME</b>	0%	65%	2%	1%	3%	28%	0%	0%	100%

**Tabla 2.10 Fuentes de cargas de fósforo (1000 toneladas en el año modelo 2000 para las subregiones I a V de la RGC, excluyendo el LME de la plataforma norte de Brasil (NBS), que se muestra por separado (datos de entrada: Beusen et al., 2016).**

Fuentes de fósforo Año modelo (2000)	Meteorización	Vegetación en llanura aluvial	Escorrentía superficial (agricultura)	Escorrentía superficial (natural)	Aguas residuales	Agricultura	Todas las fuentes
<b>SR IV (1000 toneladas)</b>	120	62	339	20	66	1	608
<b>SR IV (%)</b>	20%	10%	56%	3%	11%	0%	100%
<b>NBS LME</b>	180	458	23	59	3	0	723
<b>NBS LME</b>	25%	63%	8%	3%	0%	0%	100%

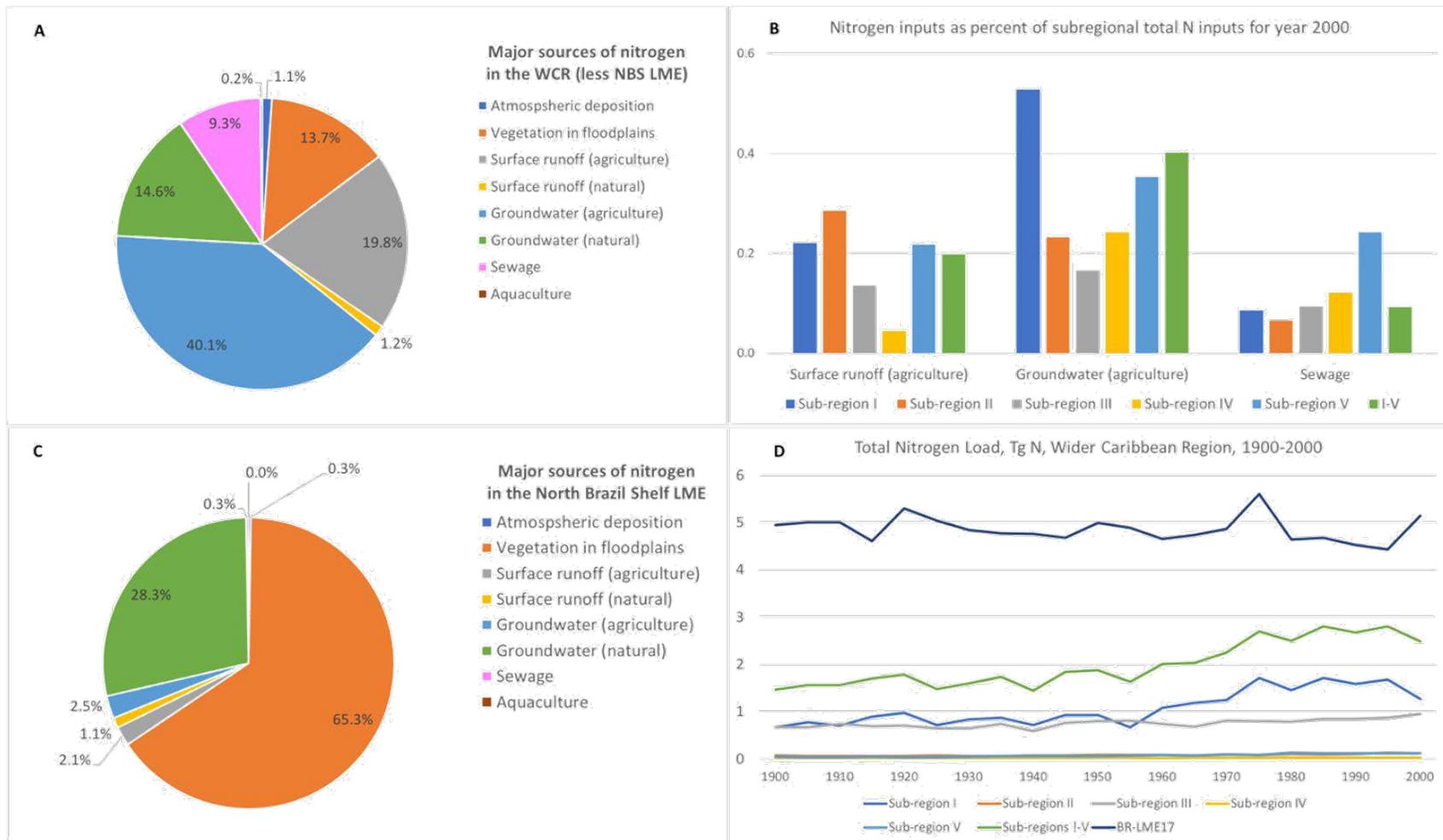


Figura 2.10 (A) Fuentes de nitrógeno para las subregiones agregadas I a V (excluyendo NBS LME; (B) Cargas de nitrógeno por fuente por subregión RGC para el año modelo 2000 como porcentaje de las cargas totales de N subregionales; (C) Carga de nitrógeno por fuente en el LME de la Plataforma del Norte de Brasil (NBS); los ítems A-C son para el año modelo 2000; y (D) Carga total de nitrógeno descargada en las desembocaduras de los ríos en la RGC de 1900 a 2000.

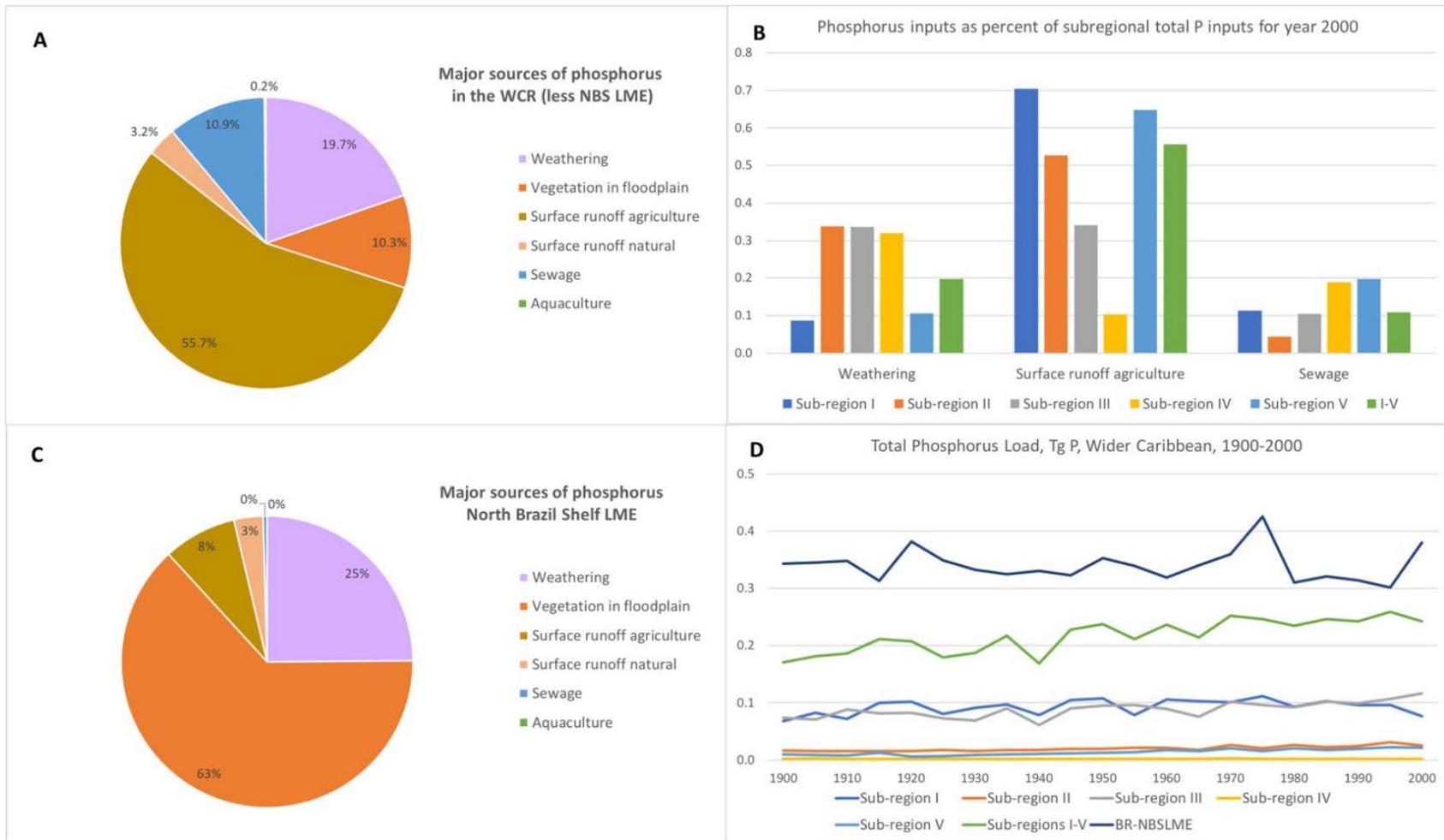


Figura 2.11 (A). Cargas de P por fuente para la carga total agregada para las subregiones I a V (menos LME de NBS; (B) Cargas de P por fuente como porcentaje de las cargas de P totales subregionales; (C). Cargas de P por fuente en el LME de NBS; Los ítems A - C son para el año modelo 2000. (D) Carga total de fósforo (Tg N) descargada en las desembocaduras de los ríos en la RGC de 1900 a 2000. (Datos de entrada: Beusen et al. 2016).

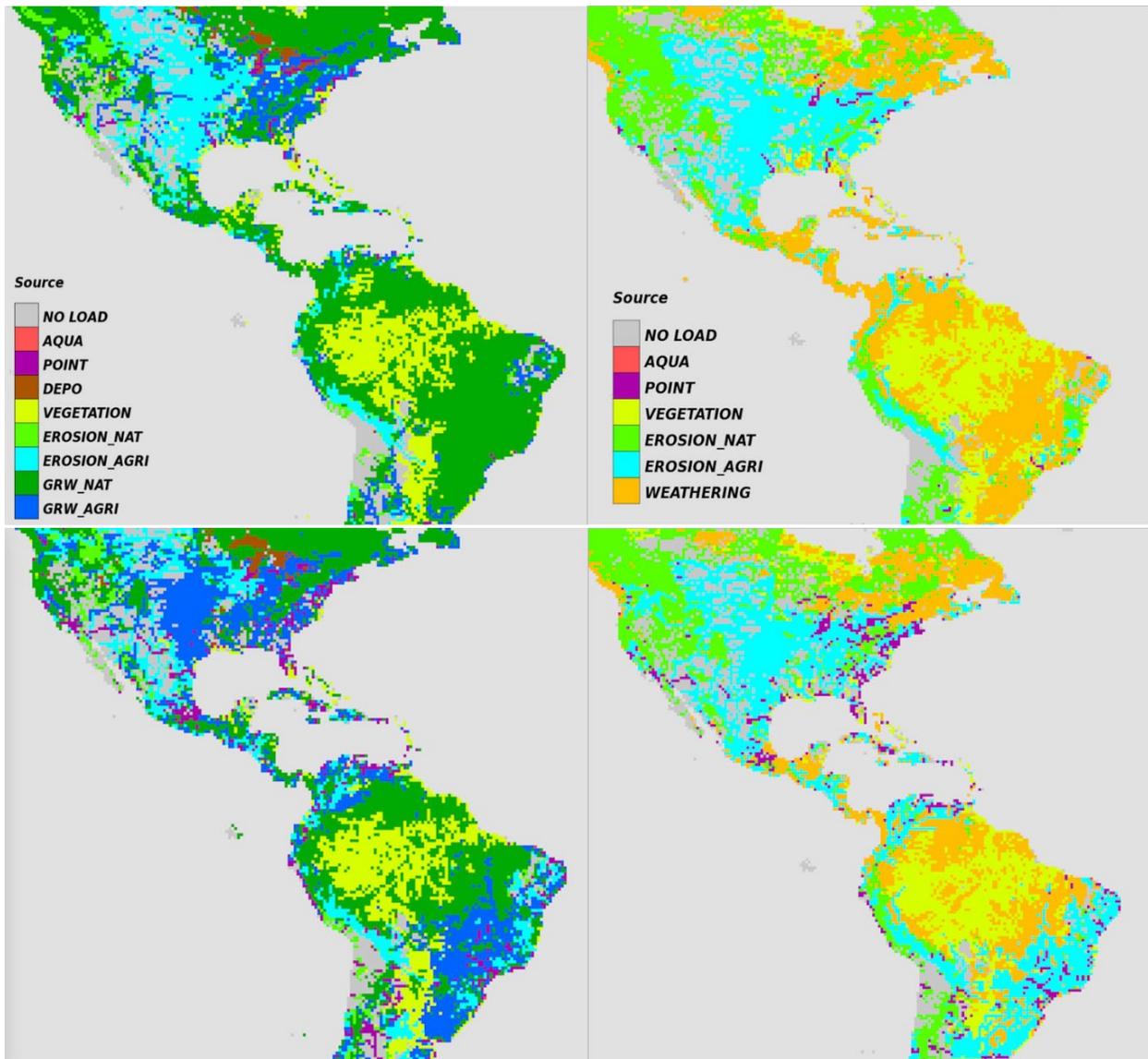


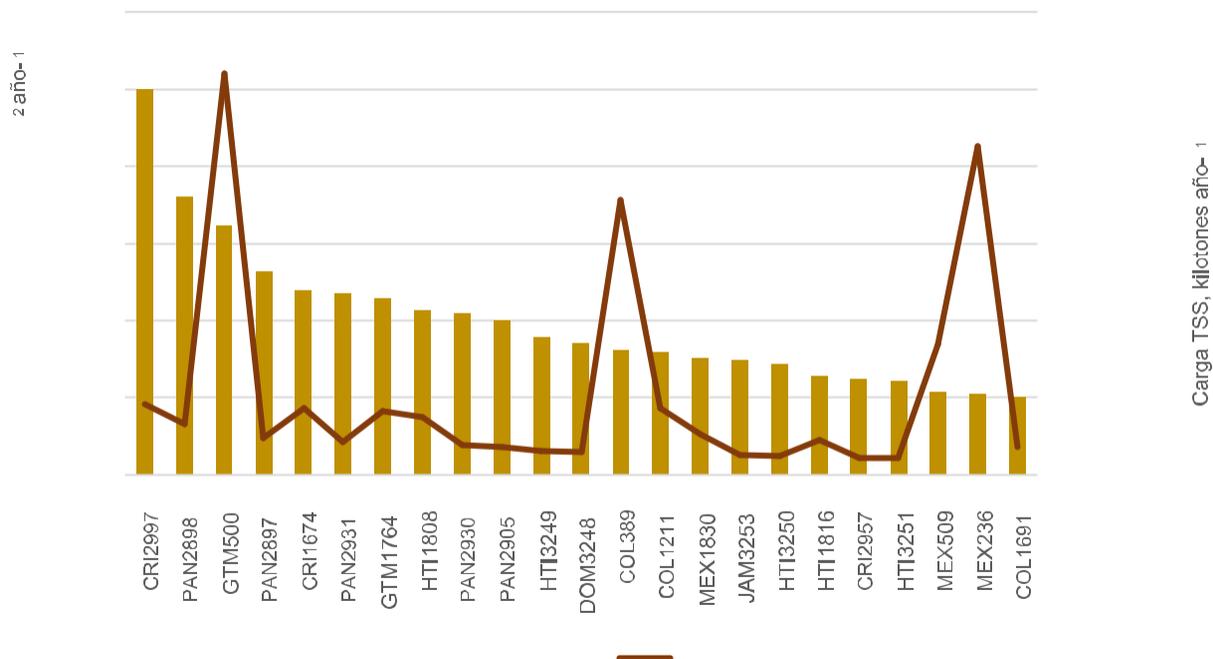
Figura 2.12 Cargas de nutrientes de fuentes en 1900 y 2000. Las cargas de nitrógeno del agua subterránea en áreas agrícolas (azul oscuro) y de fuentes puntuales de aguas residuales domésticas (violeta) aumentaron dramáticamente durante un siglo. En el caso del fósforo, son evidentes los aumentos en la escorrentía agrícola (agua) junto con las fuentes puntuales domésticas (violeta).

## 2.9 Sólidos suspendidos totales (TSS)

Además de los nutrientes y patógenos, un tercer componente principal de las entregas de materiales de la cuenca son los sólidos totales en suspensión (SST), tanto en formas orgánicas como inorgánicas, y tienen un tamaño superior a 2 micrones. Consisten en partículas flotantes derivadas de sedimentos, limo, arena, plancton y algas. Su presencia determina la claridad visual del agua e influye en la medida en que la luz puede penetrar y alimentar la fotosíntesis en las cuencas receptoras costeras. Igualmente, importante, también indican el grado de erosividad de las áreas terrestres en la cuenca, un proceso que debe manejarse para minimizar la pérdida de suelo y la deficiencia de nutrientes y promover una mejor claridad del agua para las aguas costeras. Los estándares de TSS son difíciles de establecer ya que las

mediciones de TSS basadas en la masa están muy matizadas por la red de cuencas y arroyos y las características y procesos fluviales.

El conjunto de datos de Global NEWS proporciona estimaciones de TSS para 262 cuencas de la RGC que se resolvieron en 0.5 ° X 0,5 ° resolución. Veintitrés cuencas tenían rendimientos de o más de 1000 toneladas km- 2 año- 1 (Figura 2.13). Estos incluyeron cuencas de captación en América Central, en las islas Hispaniola (Haití y República Dominicana) y Jamaica, y en Colombia y México. Valores de rendimiento de TSS en toneladas km 2 año- 1 para 262 cuencas se muestran en el Anexo 2.7. Un primer punto a destacar es que las cuencas con extensiones de bosque significativamente moderadas a amplias tienen un rendimiento de SST de medio a bajo. Los rendimientos de TSS son más altos donde las tasas de deforestación y conversión a tierras agrícolas son altas. Como tal, la movilización de TSS como indicador de erosión es mala para ambos extremos de la tubería y se puede abordar mejor en la fuente mediante la implementación de prácticas de manejo del suelo que incluyen cultivos de cobertura y agricultura sin labranza. El mejor de ellos sería la protección total de las tierras forestales y las zonas de amortiguamiento ribereñas.



**Figura 2.13** Captaciones de la RGC RGC con los mayores rendimientos de TSS. Los nombres de las cuencas son el código ISO del país seguido del número de cuenca en el conjunto de datos de Global NEWS. CRI Costa Rica, PAN Panamá, GTM Guatemala, HTI Haití, DOM República Dominicana, COL Colombia, MEX México, JAM Jamaica. Entre las 23 principales se encuentran 7 cuencas insulares (5 en Haití, 1 en Jamaica y República Dominicana); 10 cuencas en Centroamérica, 3 en Colombia y 3 en México.

## 2.10 Fuentes marinas de contaminación por nutrientes

Si bien la agricultura es la actividad humana singular que ha alterado los ecosistemas y los regímenes de nutrientes en entornos terrestres, de agua dulce y costeros, las actividades en el mar, incluido el turismo marino y el transporte marítimo, tienen el potencial de agregar importantes cargas de nutrientes. Se

necesitan evaluaciones periódicas e integrales de estas fuentes para informar mejor el desarrollo de regulaciones apropiadas sobre la reducción de la contaminación por nutrientes, así como aquellas relevantes para otras corrientes de desechos (desechos sólidos y plásticos, contaminantes del aire, entre otros). a escala nacional y regional. Vale la pena señalar que el Convenio MARPOL declaró a la Región del Gran Caribe como Área Especial bajo el Anexo V de MARPOL (Prevención de la Contaminación por Basura de los Barcos) en 1991, y que entrará en vigor el 1 de mayo de 2011, pero no para el Anexo IV del MARPOL (Prevención de Contaminación por Aguas Residuales de Buques). Una consideración del estado de área especial MARPOL de la RGC debe considerarse a la luz de la extensión de los factores estresantes de las fuentes marinas de contaminación por nutrientes. El Mar Báltico fue adoptado por MARPOL como la primera Zona Especial del Anexo IV en 2013, y los estados miembros de MARPOL deben considerar un estatus similar para la RGC.

### **2.10.1 Turismo de cruceros**

La Región del Gran Caribe representa un tercio del turismo de cruceros mundial, que es, con mucho, la forma más lucrativa de subsector turístico hasta la fecha, con ingresos que ascendieron a US \$ 40 mil millones en 2016 (Honey 2016, 2019). Los pasajeros de cruceros a la RGC ascendieron a 24 millones en 2016, mientras que los visitantes de estadía superior alcanzaron los 29 millones (Honey 2019). Más de 30 naciones insulares del Caribe son destinos de cruceros para cruceros, cada uno con un promedio de 3000 pasajeros y 500 tripulantes, de ahí el término “ciudades flotantes” (Figura 2.14).

La industria de los cruceros utiliza un modelo de negocio que se basa en una laguna jurídica: la bandera de la conveniencia. Registrados en países bajo cuyas banderas navegan los cruceros, pero sin apenas influencia para hacer cumplir las regulaciones laborales, financieras o ambientales, los cruceros tienen casi todos los medios para establecer prácticas comerciales que maximicen las ganancias, sobre todo. Las líneas de cruceros contienen gastos en tierra a bordo del barco o en islas privadas propiedad de la compañía, mantienen bajos los costos laborales pagando salarios por debajo del mínimo, evitan impuestos y eluden las regulaciones ambientales y de seguridad. Los estudios de impacto económico han demostrado que el turismo de estadía genera hasta 7 veces los ingresos que un país anfitrión obtiene por ser un destino de cruceros (Honey 2016).

En 2008, la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. publicó sus hallazgos sobre los flujos de desechos generados por cruceros, incluidas las aguas residuales, las aguas grises, las aguas de sentina aceitosas, los desechos sólidos y los desechos peligrosos; incluido un análisis exhaustivo de la tecnología de mitigación y las leyes internacionales y estadounidenses existentes que regulan las descargas en aguas territoriales estadounidenses o su transporte a puertos estadounidenses.

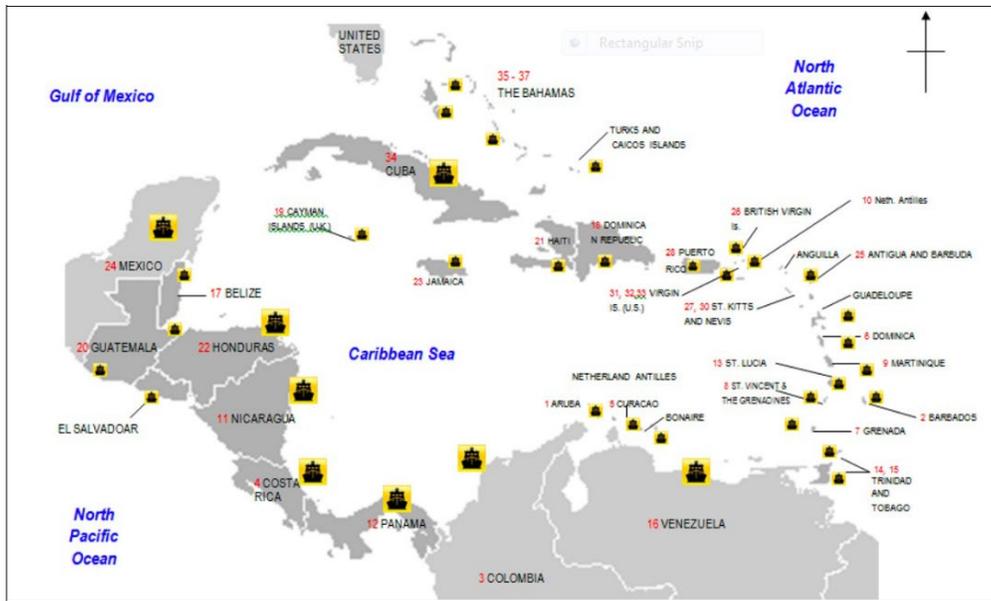


Figura 2.14 Puertos de cruceros en el Gran Caribe. No se incluyen los puertos de EE. UU. Y Brasil (Dirección de Turismo Sostenible de la ACS, 2016). [sequía]

Tabla 2.11 Flujos de desechos generados por cruceros (US EPA 2008).

Flujo de residuos	Tasa media de producción de residuos por crucero por día	Promedio Tasa de producción por persona por día	MARPOL (Convención Internacional para la Prevención de la contaminación por los buques)
Aguas residuales (aguas negras)	21,000 galones	8.4 galones	Se prohíbe la descarga a menos que se descarguen aguas residuales trituradas y desinfectadas a más de 3 millas náuticas(mn) de la tierra más cercana; o está descargando aguas residuales que no están trituradas o desinfectadas a una distancia de más de 12 mn de la tierra más cercana.
Aguas grises (aguas residuales de lavabos, baños, duchas, lavandería y galeras)	170,000 galones	67 galones	Anexo 4 del MARPOL
Agua aceitosa de la sentina	2640 galones (máximo para 2700-3200 pasajeros con capacidad		MARPOL Anexo I, Reglamento para la prevención de la contaminación por hidrocarburos

Residuo sólido	(Royal Caribbean Cruises, por barco por semana): 60 metros cúbicos de estiba 5 metros cúbicos de vidrio 2,5 metros cúbicos de latas 12 metros cúbicos de desperdicio de alimentos	7.7 lbs / persona / día	Anexo V del MARPOL; también requiere que los gobiernos aseguren la provisión de instalaciones portuarias de recepción de desechos sólidos
Residuos peligrosos (sólidos residuos con peligrosos constituyentes)	(Royal Caribbean Cruises, 17 embarcaciones): - Desperdicio de fotografías: 1300 galones / semana - desechos médicos: 80 libras / semana - baterías: 580 libras / semana - pintura y diluyentes gastados: 225 galones / semana		Peligroso si aparece en 4 listas de desechos peligrosos (Lista F, Lista K, Lista P o Lista U) o tiene una de cuatro características peligrosas (inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad); Las sustancias peligrosas se almacenan a bordo y deben eliminarse en las instalaciones de recepción del puerto siguiendo las normas ANDMARPOL del país del puerto.

En la RGC, no se ha realizado una evaluación sistemática de la generación de desechos de los cruceros. Tampoco se practica un informe periódico de los desechos generados, descargados o retenidos para su eliminación en las instalaciones portuarias receptoras como parte del permiso de una línea de cruceros para operar en aguas internacionales o en la zona económica exclusiva respectiva de una nación. Los Amigos de la Tierra (FOE), una organización ambiental no gubernamental, produce una tarjeta de informe periódica sobre los cruceros. En 2020, el FOE evaluó 18 líneas de cruceros importantes con 112 cruceros que navegaban con itinerarios por el Caribe (FOE 2020) (Figura 2.15). Los barcos y las compañías fueron calificados con grados de letra basados en:

- 1) Tratamiento de aguas residuales: Verificaciones de calificación - Si una línea de cruceros ha instalado los sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas grises más avanzados disponibles en lugar de descargar las aguas residuales tratadas mínimamente directamente al mar.
- 2) Reducción de la contaminación del aire: la calificación determina si una línea de cruceros ha modernizado sus barcos para "conectarse" a las redes eléctricas disponibles en tierra en lugar de hacer funcionar motores contaminantes cuando está atracado. O utiliza el combustible con menor contenido de azufre en todo el mundo o ambos.
- 3) Cumplimiento de la calidad del agua: La evaluación hace referencia a las normas de contaminación del agua destinadas a proteger las aguas costeras de Alaska. Los barcos obtienen una "F" si utilizan un sistema de depuración, ya que generan efluentes de agua tóxicos.
- 4) Transparencia: Las líneas de cruceros y los barcos obtienen altas calificaciones si responden a las solicitudes de información sobre prácticas ambientales de la FOE.

Criminal Violations: All Carnival Corporation companies committed criminal environmental violations from 2017 - 2020.						
CRUISE LINE	Sewage treatment	Air pollution reduction	Water quality compliance	Transparency	Criminal Violations	2020 FINAL GRADE
Disney	C	A-	A	A		<del>X</del> B-
Silversea	D-	F	A	A		C
Celebrity	C	F	F	A		D+
Royal Caribbean	C-	F	F	A		D
Virgin Voyages	C	F	F	A		D
Regent Seven Seas	C	F	A	F		D
Princess	C-	C	D+	F	✓	<del>X</del> F
Norwegian	C	D-	F	F		D-
Oceania	D	F	C+	F		D-
Seabourn Cruises	C	F	D-	F	✓	<del>X</del> F
Holland America	C	F	F	F	✓	<del>X</del> F
Cunard	C	F	F	F	✓	<del>X</del> F
AIDA Cruises	C-	F	F	F	✓	F
P&O Cruises	D-	F	F	F	✓	F
Carnival Cruise Line	F	D	F	F	✓	F
MSC Cruises	D-	F	F	F		F
Costa	F	F	F	F	✓	F
Crystal	F	F	N/A	F		F

Figura 2.15 Boleta de calificaciones del año 2020 para 18 líneas de cruceros evaluadas por Amigos de la Tierra junto con los detalles disponibles en el sitio web de FOE. (Fuente: <https://foe.org/projects/cruise-hips/?issue=335>)

La capacidad promedio de pasajeros de los cruceros en la RGC es de 3890, una mediana de 3660 y un rango de 260 a 9000. Se puede evaluar una evaluación sistemática de los efluentes de nutrientes, patógenos y metales pesados (entre otros) de las corrientes de desechos de aguas negras y grises. con información básica sobre la funcionalidad de la tecnología de tratamiento de residuos a bordo, tasas de eliminación en las instalaciones de recepción en los puertos de escala a lo largo de cada itinerario de crucero; volúmenes de capacidad de almacenamiento a bordo, ubicaciones georreferenciadas de los sitios de disposición y composición por volumen de desechos descargados. La evaluación debe incluir un examen de todas las corrientes de desechos y los impactos del ecosistema, no solo los que contribuyen a la contaminación por nutrientes.

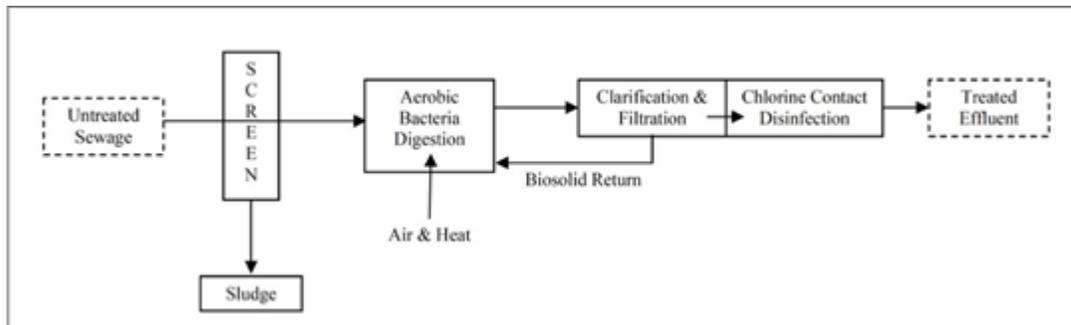
Sobre el tema de los desechos de nutrientes, tanto de aguas residuales como de aguas grises, la EPA de EE.UU. Analizó las alternativas tecnológicas existentes que las líneas de cruceros pueden emplear para tratar estos flujos de desechos:

- 1) En los dispositivos de saneamiento marino (MSD) tradicionales de Tipo II, las aguas residuales se tratan mediante tratamiento biológico y cloración, o maceración y cloración. La combinación de DME de tratamiento biológico y cloración funciona de manera similar al tratamiento biológico terrestre de los desechos municipales (Figura 2.16). Los cruceros instalan hasta cuatro sistemas, para permitir el mantenimiento fuera de línea en un período de operación determinado.

La US EPA (2008) examinó la eficacia de esta tecnología en el tratamiento de aguas residuales y en el cumplimiento de los estándares de efluentes. Los resultados indican que:

- a) El 43% de las muestras examinadas para coliformes fecales cumplieron con el estándar de MSD de 200 coliformes fecales por 100 ml;
- b) El 32% de las muestras evaluadas para sólidos suspendidos totales (SST) cumplían con el estándar MSD de 150mg / litro
- c) Solo 1 muestra de aguas residuales de 70 cumplió con los estándares de coliformes fecales y TSS.
- d) La concentración promedio de amoníaco en el efluente fue de 145 mg de nitrógeno amoniacal / litro en el 100% de las muestras, y fue una magnitud de orden mayor que los valores promedio para las aguas residuales domésticas sin tratar a 12-50 mg de amoníaco-N / litro.

Como tal, la eficacia de los MSD Tipo II en el tratamiento de aguas residuales y efluentes de aguas grises de cruceros no cumple con los estándares existentes, ya que contienen cantidades significativas de patógenos fecales y nutrientes por encima de los límites estándar.



**Figura 2.16 Tratamiento de efluentes de buques mediante un dispositivo de saneamiento marino de tipo II mediante tratamiento biológico y desinfección por cloración. (Fuente: EPA de EE. UU., 2008).**

- 2) Una tecnología de tratamiento alternativa se denomina Sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales (AWT). Esto incluye cribado mejorado, tratamiento biológico, separación de sólidos mediante filtración o flotación y desinfección UV. Los avances tecnológicos en cada paso del tratamiento de aguas residuales pueden mejorar la eficacia y el cumplimiento. El análisis de la EPA de EE. UU. (2008) de los cruceros que operan en Alaska mostró que los AWT son efectivos para eliminar patógenos, sustancias que requieren oxígeno para metabolizarse, sólidos en suspensión, aceite y grasa y metales en partículas. Los AWT logran una remoción moderada de nutrientes, en gran parte como resultado de la absorción por microbios en los biorreactores (US EPA 2008). El amoníaco no se eliminó por nitrificación como lo indican los niveles sin cambios en las concentraciones de nitrato y nitrito. Como tal, incluso con el uso de AWT, los nutrientes específicamente amoníaco-nitrógeno permanecieron en exceso, en ambas formas ionizadas ( $\text{NH}_4^+$ ) y no ionizadas ( $\text{NH}_3$ ). El amoníaco no ionizado es la forma más tóxica, dependiendo de factores abióticos (pH, temperatura y salinidad) que influyen fuertemente en el nivel de toxicidad para los organismos impactados.

- 3) La EPA de EE.UU. Informó sobre tecnologías adicionales que los AWT pueden combinar para abordar el tratamiento de nutrientes que solo pueden eliminarse mediante plantas de tratamiento de nivel terciario en tierra. En el momento del informe, las tecnologías examinadas no habían sido probadas en cruceros para determinar su eficacia en el tratamiento de desechos de nutrientes. El uso de estas tecnologías requeriría probar la infraestructura adecuada y el diseño de materiales en condiciones operativas específicas, incluida la capacitación y certificación del personal técnico. Estas tecnologías de reducción de nutrientes incluyen: a) eliminación de amoníaco por nitrificación biológica; b) eliminación total de nitrógeno por intercambio iónico; y c) eliminación de fósforo por precipitación química.

En un artículo fundamental, Avellaneda et al (2011) examinaron el riesgo relativo asociado a varias alternativas para la eliminación de biosólidos en cruceros. Los biosólidos son residuos sedimentados formados por el tratamiento a bordo de aguas residuales, y que incluyen aguas residuales y aguas grises. El estudio incluyó un programa de muestreo mediante el cual se obtuvieron 47 muestras de 32 cruceros diferentes equipados con sistema AWT, y que fueron enviadas para su análisis a laboratorios certificados en análisis de residuos sólidos como biosólidos siguiendo los protocolos de la EPA. Los componentes incluyen: demanda biológica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (TSS), nitrógeno total (TN), *Escherichia coli*, coliformes fecales (*C. fecal*), enterococos (*Enterococcus*), nitrito / nitrato ( $\text{NO}_2/\text{NO}_3$ ), cobre (Cu), zinc (Zn), fósforo total (TP), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), Pantalla de estrógeno de levadura (YES) y *Cryptosporidium parvum* (patógeno microbiano). La Tabla 2.12 muestra las concentraciones de los componentes de muestras de biosólidos nunca medidas ni publicadas previamente. Este conjunto de datos empíricos sobre concentraciones por componente sirvió de base al modelo de cargas de desechos y de escenarios de eliminación en el estudio. La carga oceánica estimada como resultados del modelo, asumiendo descargas continuas de todos los cruceros operativos durante un período de modelo de 3 meses con 61 sitios de descarga en el dominio del modelo, se muestra en la Figura 2.17. Los resultados del modelo visualizaron la extensión y extensión de las descargas con dilución durante el transporte, asumiendo que los biosólidos diluidos no se descomponen.

Avellaneda et al (2011) evaluaron cuatro escenarios de carga: (1) descarga de biosólidos en aguas potencialmente poco profundas / sensibles; (2) descarga en aguas profundas; (3) incineración a bordo y (4) disposición en tierra. Para cada escenario de eliminación, se evaluaron los riesgos ecológicos y de salud pública (Tabla 2.13). Los resultados del modelo indican que la eliminación e incineración en aguas profundas presentan las dos mejores opciones con menores riesgos tanto para la salud pública como para los ecosistemas. Estos requerirían una investigación posterior para establecer la huella de carbono de estas opciones, y las pautas operativas en el caso de la eliminación en aguas profundas para garantizar que su implementación no generará impactos ecológicos adversos en aguas profundas y que estos serán cubiertos por regulaciones apropiadas a través de monitoreo ambiental y cumplimiento por los organismos apropiados.

**Tabla 2.12 Concentraciones medidas de componentes encontrados en biosólidos generados por cruceros y estadísticas asociadas (media, desviación estándar (SD), valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), media**

geométrica (GM), desviación estándar geométrica (GSD) y número de muestras (NS). (Fuente: Avellaneda et al.2011)

Statistic	BOD, (mg/L)	TSS, (mg/L)	TN (mg/ L)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Enterococcus (MPN/100 mL)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	Cu (mg/ L)	Zn mg/L)	TP (mg/ L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	YES (ng/L)
Mean	1.1 × 10 <sup>4</sup>	2.1 × 10 <sup>4</sup>	1.3 × 10 <sup>3</sup>	1.8 × 10 <sup>7</sup>	1.9 × 10 <sup>7</sup>	2.2 × 10 <sup>7</sup>	7	22	12	247	283	458
SD	1.5 × 10 <sup>4</sup>	2.1 × 10 <sup>4</sup>	1.9 × 10 <sup>3</sup>	4.4 × 10 <sup>7</sup>	4.0 × 10 <sup>7</sup>	4.6 × 10 <sup>7</sup>	25	24	9	402	455	760
Max.	6.2 × 10 <sup>4</sup>	1.1 × 10 <sup>5</sup>	1.0 × 10 <sup>4</sup>	1.6 × 10 <sup>8</sup>	1.6 × 10 <sup>8</sup>	1.6 × 10 <sup>8</sup>	141	119	43	1990	2200	2470
Min.	1.7 × 10 <sup>2</sup>	2.1 × 10 <sup>3</sup>	2	1.3 × 10 <sup>2</sup>	1.1 × 10 <sup>3</sup>	5.0 × 10 <sup>4</sup>	0.04	1	0	4	19	6
GM	4.3 × 10 <sup>4</sup>	1.5 × 10 <sup>4</sup>	608	1.3 × 10 <sup>6</sup>	3.7 × 10 <sup>6</sup>	3.6 × 10 <sup>6</sup>	0.22	13	9	117	129	97
GSD	5	2	5	23	8	6	9	3	2	3	3	7
NS	47	47	45	21	47	30	47	47	47	47	45	23

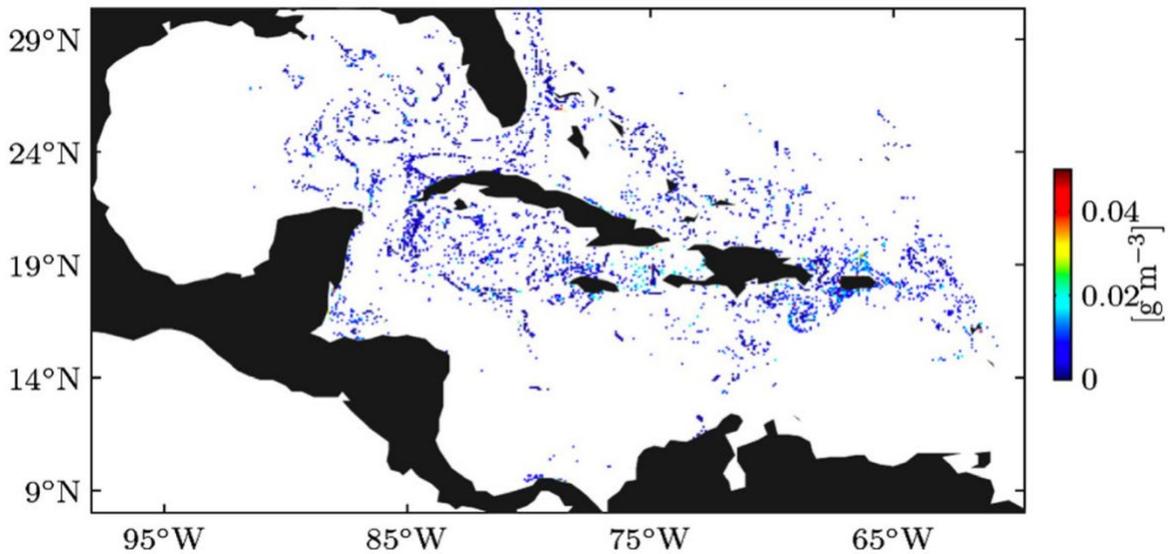


Figura 2.17 Concentraciones estimadas de biosólidos secos resultantes de un período supuesto de 3 meses de descargas continuas de todas las líneas de cruceros en operación en el momento del estudio, asumiendo que no hay descomposición. Condiciones del modelo: diarios 50 kg/m<sup>3</sup> o 5% de biosólidos húmedos. (Fuente: Avellaneda et al. 2011).

Tabla 2.13 Indicadores de riesgo relativo para las diferentes alternativas de disposición (Fuente: Avellaneda et al. 2011).

Disposal alternatives	Mean days of exceedance in 10 years								
	Metals	Organics	Microbial	Inorganics	Nutrients	DO	TSS	Human health risk	Ecological risk
DO/SO	-	1.2	0.3	-	0.3	1.0	-	0.5	0.6
L/SO	-	1.7	1.5	-	2.0	3.9	3.0	1.8	2.3
I/SO	-	0.02	-	-	-	-	-	0.5	-

-, not assessed due to lack of perceived risk.  
DO, deep ocean; L, land; I, incineration; SO, shallow ocean.

A pesar del progreso en términos de tecnología de tratamiento de aguas residuales a bordo, un cambio estratégico en el cambio del modelo de turismo y negocios de cruceros es fundamental. La transformación más disruptiva que puede suceder para abrir el camino a una navegación limpia y justa, si es posible, es la que cierra la laguna de la bandera de la conveniencia, una anomalía que ha permitido a las compañías de cruceros en los últimos 50 años externalizar las condiciones ambientales y económicas. y costos sociales para que las ganancias sean maximizadas y habilitadas por países que actúan como banderas de

conveniencia, incluidos algunos en la región del Caribe. El marco regulatorio MARPOL, como la mayoría de las normas ambientales, debe internalizar la protección del funcionamiento de los ecosistemas, incluida la conectividad en el espacio y el tiempo de los procesos físicos y biológicos que determinan el destino y transporte de materiales y biota. A nivel supranacional y nacional, los estándares ambientales en su esencia deben garantizar la conservación del agua y la calidad bentónica, y la biodiversidad y las redes alimentarias, a fin de mantener los servicios de los ecosistemas que sustentan una economía azul a largo plazo. Además, las regulaciones también deben abordar las asimetrías sociales y económicas que la industria de cruceros ha practicado durante mucho tiempo. Las pequeñas naciones insulares, en particular, deben participar de manera proactiva en el turismo de cruceros solo si esto les ayuda a salvaguardar sus ecosistemas oceánicos, que constituyen la base de sus economías oceánicas.

### **2.10.2 Turismo náutico**

A diferencia del turismo de estancia o de cruceros, el sector náutico está menos estudiado debido a las actividades de navegación más individualizadas y los requisitos de apoyo de los navegantes (también llamados cruceros o navegantes). El sector de la navegación se puede desglosar en varios segmentos: chárter, visitantes a corto plazo (cruceros de un día a estancias largas de 6 meses), visitantes a largo plazo (a bordo y propietarios de segundas residencias) y yates de lujo (Honey 2016b). El desarrollo del sector en los últimos 30 años está impulsado por dos factores: la economía estadounidense y los huracanes (Honey 2016b). La navegación depende en gran medida de la presencia de puertos deportivos y astilleros para proporcionar los servicios de apoyo (alquiler de amarres, alquiler de botes, servicios públicos, venta de combustible, servicios de comida y restaurante, artículos de decoración, almacenamiento y reparaciones) y la infraestructura costera que requiere la navegación (Phillips 2014, Cariño 2016).

Para ocho estados miembros insulares de la Unión Monetaria del Caribe Oriental (ECCU) (Anguila, Antigua y Barbuda, Dominica, Granada, Montserrat, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía y San Vicente y las Granadinas), Los datos sobre los tipos de visitantes turísticos, incluidos los pasajeros de yates, están disponibles y accesibles de forma gratuita en el sitio web del Eastern Caribbean Central Bank (<https://www.eccb-centralbank.org/statistics/tourisms/comparative-report>). Durante un período de 20 años, los pasajeros de yates sufrieron una recesión durante la recesión a finales de 2000, y ha aumentado constantemente de 115.000 en 2000 a en 192.000 en 2019, una ganancia del 66% (Figura 2.18). En comparación, durante el mismo período, el turismo de cruceros se duplicó con creces (aumento del 121%), lo que representa el 68% de la población turística en la región de la ECCU. De 2000 a 2019, los pasajeros de yates representaron consistentemente el 4% del total de turistas en el Caribe Oriental.

Honey (2016b) comparó los gastos diarios y totales de los tipos de turistas utilizando datos del año 1999 para Antigua y Barbuda (Tabla 2.15). Los navegantes contribuyeron con US \$ 13,43 millones en comparación con los \$ 9,17 millones de los turistas de cruceros, siendo la población de navegantes una décima parte del tamaño de la población de visitantes de cruceros. Los visitantes que se quedaron en hoteles y comieron en restaurantes contribuyeron con más del 90% de los ingresos por turismo en Antigua y Barbuda durante el año de estudio.

Talae-McManus et al (2008) examinaron los navegantes de invierno (n = 140) y verano (n = 78) en las Bahamas en 2004, incluidas sus percepciones sobre las áreas marinas protegidas, los patrones de gasto, la generación y eliminación de desechos de nutrientes y las posibles formas de para mitigar la contaminación por nutrientes. El veinte por ciento de todos los navegantes descargó sus desechos líquidos en los puertos deportivos, el 46% los mantuvo en tanques de retención antes de descargarlos al mar y el 36% los desechó directamente en el mar. Los navegantes contribuyeron con 56 toneladas TN o el 4% del tonelaje estimado de TN vertido en el agua de las Bahamas en 2004, incluidos los de los residentes y los turistas terrestres (Figura 2.19). Teniendo en cuenta que más del 80% de los navegantes descargan directamente sus desechos líquidos en las aguas costeras, las concentraciones resultantes de desechos líquidos diluidos, pero sin tratar que oscilan entre 1 y 20  $\mu\text{M}$  de nitrógeno-amoniaco, podrían resultar perjudiciales para la salud de los arrecifes de coral (LaPointe 1992, 1993; Sealy 2004, Collins 2006, Talae-McManus et al.2008). Para mitigar esta práctica, se utilizó un modelo simple para determinar el costo y la viabilidad de instalar instalaciones de bombeo a lo largo de las rutas de navegación, suponiendo que el bombeo

Los desechos líquidos podrían eventualmente ser tratados en una planta de tratamiento de aguas residuales en tierra para producir efluentes de nutrientes menos perjudiciales (Brooks 2004, Talae-McManus et al. 2008) (Figura 2.20).

**Tabla 2.14 Distribución de puertos deportivos y capacidad de atraque en el Caribe insular para el año 2015. (Fuente: Birkhoff, 2015).**

País	País	Número	Número
	Código ISO de 3	de	de
	letras	Marinas	Literas
Anguila	AIA	11	113
Antigua y Barbuda	ATG	9	340
Aruba	ABW	3	125
Bahamas	BHS	10	845
Barbados	BRB	2	100
Bonaire	BES	3	100
Islas Vírgenes Británicas	VGB	5	462
Islas Caimán	CYM	2	85
Cuba	CACHORRO	9	786
Curazao	CUW	1	128
Dominica	DMA	2	0
República Dominicana	DOM	7	878
Granada	GRD	11	407
Guadalupe	GLP	2	200
Jamaica	MERMELADA	7	182
Martinica	MTQ	6	1,178
Puerto Rico	PRI	4	458
San Bartolomé	BLM	1	152
San Eustaquio	BES	1	0

Saint Kitts y Nevis	KNA	1	36
Santa Lucía	LUC	2	293
San Martín / Sint Maarten	MAF / SXM	13	1.020
San			
Vicente y las Granadinas	APV	7	30
Surinam	SUR	1	15
Trinidad y Tobago	TTO	2	108
Islas Turcas y Caicos	TCA	2	0
Islas Vírgenes de EE.UU.	VIR	11	842
<b>TOTAL</b>		<b>140</b>	<b>9,303</b>

Tabla 2.15 Una comparación de la contribución económica por sector turístico (Honey 2016).

Type of visitor	Total number of visitors	Percentage of total visitors	Avg. length of stay (days)	Average daily expenditure (US\$)	Total expenditure (US\$ millions)	Contribution toward overall tourism revenue
Yachting	29,114	5.2%	10.8	42.71	13.43	4.5%
Stay-Over	207,662	36.8%	7.8	169.67	274.83	92.4%
Cruise Ship	328,038	58.1%	1.0	27.95	9.17	3.1%
Total	564,814	100%	4.0	240.59	297.43	100%

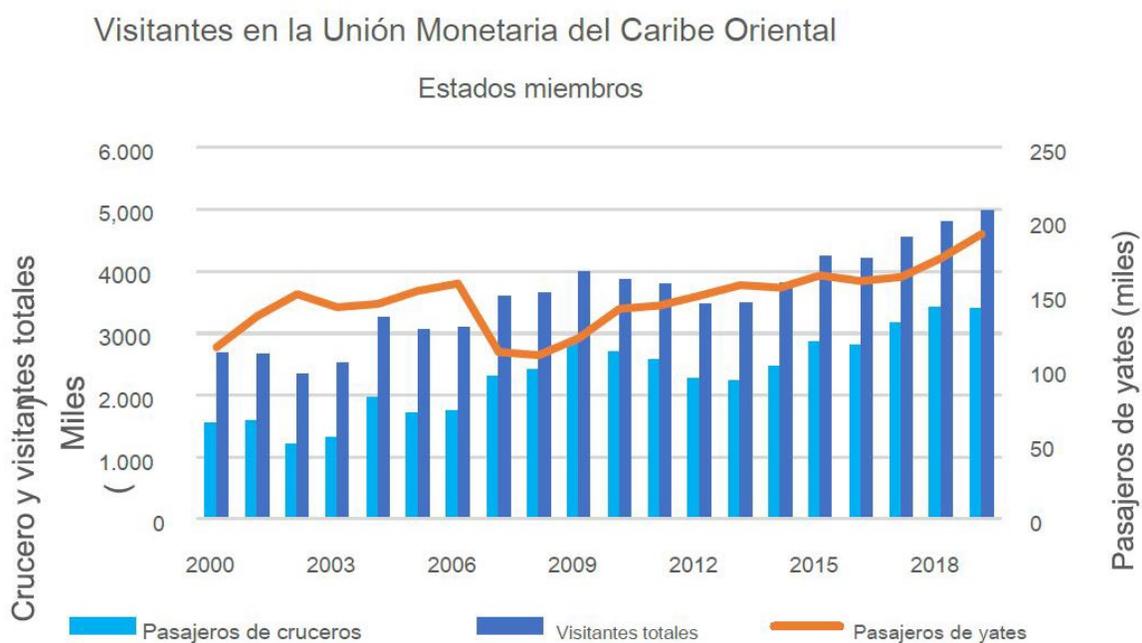


Figura 2.18 Pasajeros de yates, cruceros y visitantes totales en los estados miembros de la Unión Monetaria del Caribe Oriental: Anguila, Antigua y Barbuda, Dominica, Granada, Montserrat, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía y San Vicente y las Granadinas. (Fuente de datos de entrada: <https://www.eccb-centralbank.org>).

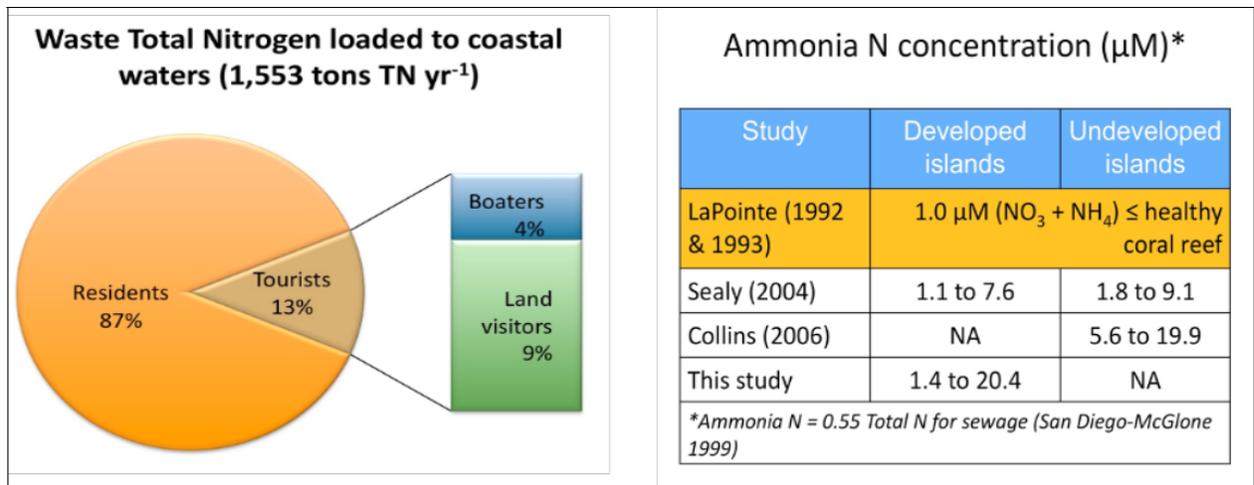


Figura 2.19 Nitrógeno total de desechos estimado cargado por turistas y residentes en las Bahamas para el año modelo 2004. Los navegantes, tanto en invierno como en verano, descargaron el 4% de la carga de N total de desechos, equivalente a o 56 toneladas TN por año (Talaue-McManus et al. 2008)).

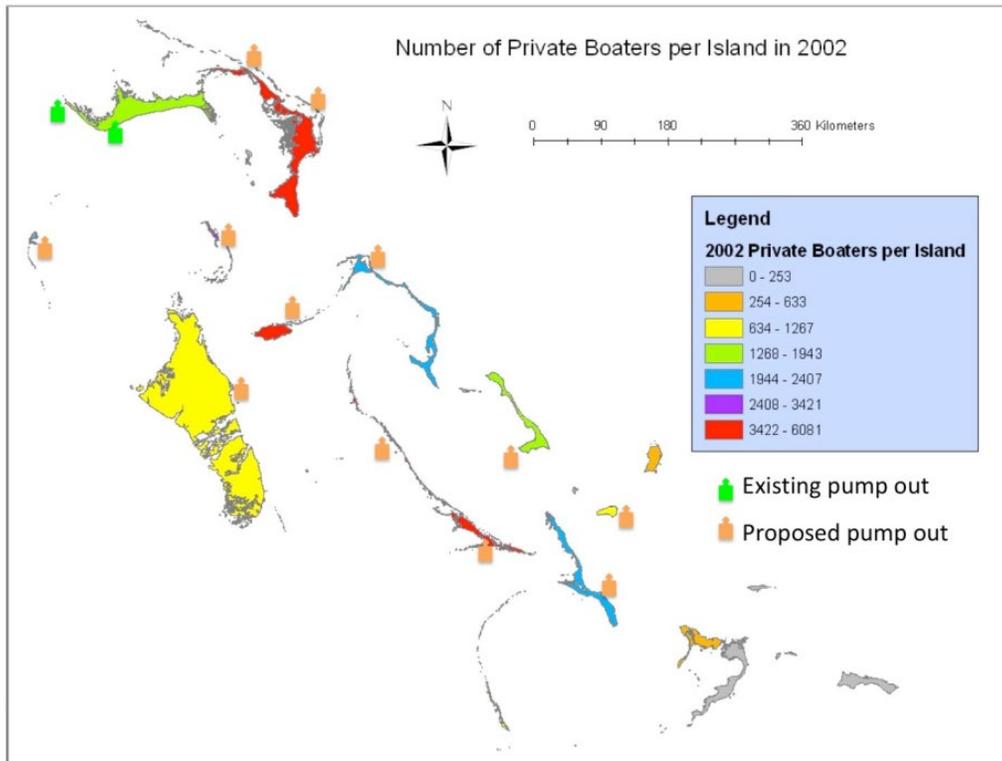


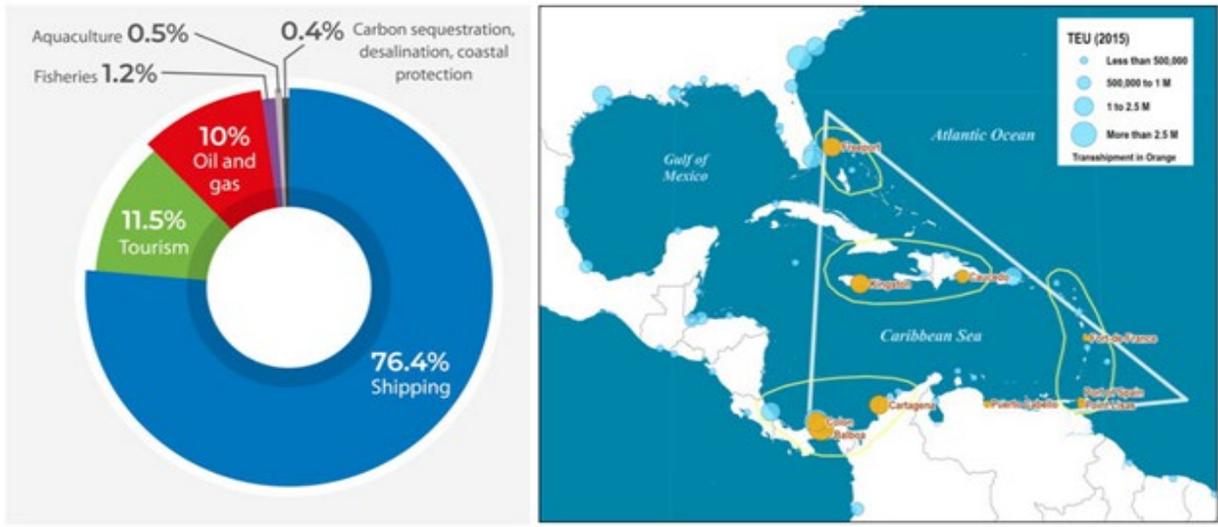
Figura 2.20 Distribución modelada de estaciones de bombeo para satisfacer las necesidades de eliminación de desechos líquidos de la población navegante en las Bahamas en 2002 y en el corto plazo (Brooks 2004; Talaue-McManus et al. 2008).

La mejor manera de lograr que la navegación sea más respetuosa con el medio ambiente es mediante la colaboración deliberada entre los navegantes, los puertos deportivos y el gobierno. Los navegantes pueden alinear su comportamiento hacia la conservación de los activos naturales que disfrutan. Ecologizar la experiencia de navegación mediante el uso de energía eólica y / o solar, instalando dispositivos como

inodoros portátiles o de compostaje, o dispositivos de saneamiento marino (MSD) (tipos I o III), y trazar un mapa de los sitios apropiados para la descarga teniendo en cuenta las zonas de no descarga, son pasos individuales que pueden tomar los navegantes. Los estados portuarios deben canalizar los ingresos en bote y el turismo en general hacia la ubicación y el diseño adecuados de los puertos deportivos y la provisión de instalaciones portuarias de recepción de desechos que incluyan plantas funcionales de tratamiento de aguas residuales para tratar los desechos de residentes y turistas. En el Caribe insular, este último sigue siendo un desafío importante debido a los costosos desembolsos de capital y mantenimiento, y la mejor forma de abordarlos es mediante alianzas público-privadas innovadoras. Aunque la huella ambiental de los navegantes sigue siendo pequeña en comparación con los grandes cruceros, su acceso y descarga de desechos no tratados en paisajes marinos poco profundos puede afectar las aguas costeras de manera significativa si estos efluentes, en conjunto, se vuelven crónicos y no mitigados, a pesar de los efectos de dilución.

**Transporte de carga y petróleo.** El transporte marítimo domina la economía oceánica medida de la Región del Gran Caribe, contribuyendo con un 76%, con parámetros evaluados principalmente para los estados y territorios insulares en 2012 (Patil 2016). Aproximadamente 311 mil millones de dólares estadounidenses en contenedores pasaron por la región en 2012, lo que representa el 8% del volumen mundial de buques portacontenedores (Figura 2.21). El intercambio de carga enviada y el uso creciente de contenedores se ve facilitado por los puertos centrales que se especializan en transbordos o transferencias de barco a barco (Rodrigue y Ashar 2016). Estos centros están ubicados dentro de un “triángulo”, “embudo”, “corredor” de transbordo. Anticipándose al despliegue de buques de carga post-Panamax, se proyecta que los servicios de transbordo en el Caribe pueden crecer a través de los detalles en cuanto a cuál es el mayor rendimiento de contenedores que implicaría para las operaciones portuarias de línea principal, alimentador y de transbordo, está matizado por la capacidad de cada puerto para jugar la carta de la eficiencia con agilidad (Sánchez y Wilmsmeier 2009).

Pinnock y Ajaguna (2012) clasifican los puertos del Caribe en función de los roles que desempeñan en una red naviera globalizada. La forma en que estos roles evolucionarán en respuesta a la Expansión del Canal de Panamá posterior a la expansión del Canal de Panamá determinará el crecimiento económico y la huella ambiental correspondiente del transporte marítimo en el Caribe.



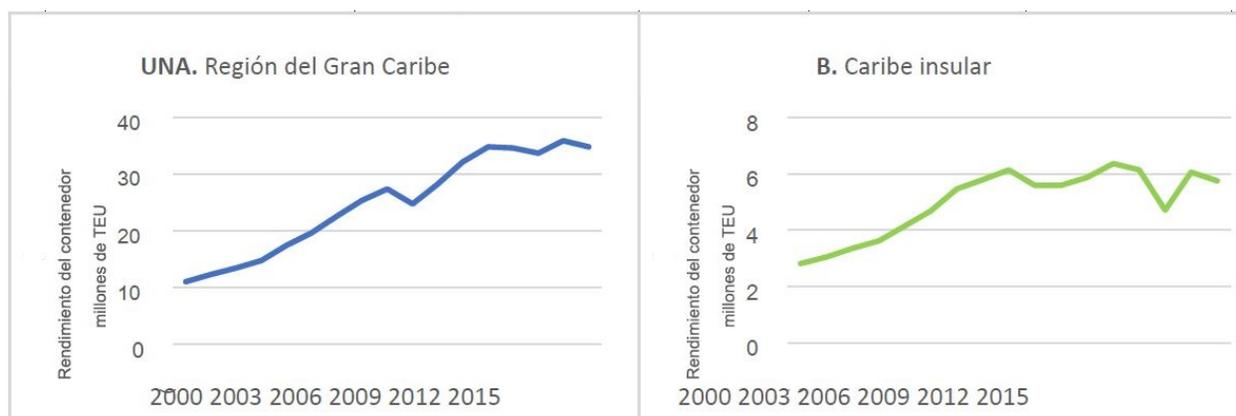
**Figura 2.21 A. Economía oceánica del Caribe principalmente insular dominada por el transporte marítimo. B. El triángulo de transbordo del Caribe con puertos centrales define la entrada de mercancías a la cuenca del Caribe. Los puertos del centro principal (transbordo) se muestran como círculos naranjas. (Fuentes: Heileman y Talaue-McManus (2019); <https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part1/ports-and-container-hipping/container-port-traffic-transshipment-traffic-caribbean-/>)**

La Figura 2.22 muestra las tendencias de 16 años en el crecimiento del rendimiento de contenedores en términos de unidades equivalentes a veinte pies (TEU, un volumen de carga estándar) para (A) Región del Gran Caribe (menos los EE. UU.) Y (B) Caribe Insular. El volumen regional está impulsado por la expansión en México y los centros de transbordo, que registraron un crecimiento del 70% entre 2000 y 2016 (Figura 2.19). Durante el mismo período, el Caribe insular, que representa 1/7 del volumen regional, creció un 50%, reflejando en gran medida el crecimiento de los puertos centrales de transbordo insular en Jamaica, Bahamas, República Dominicana y Trinidad y Tobago. Sin embargo, indicios de saturación entre los puertos de los estados insulares debido al estado de la infraestructura portuaria y la falta de equipos, incluidas grúas, S t siglo (Banco de Desarrollo del Caribe, 2016).

Incluso con los desafíos de los pequeños puertos insulares para el espacio y la modernización, se prevé que aumenten los envíos en la RGC para el transporte de carga y petróleo, tanto en el tamaño promedio de los buques para aquellos que harán escala en centros globales, como en el tráfico de buques en general para hacer frente al aumento de mercancías comercializadas, que llegan a través de contenedores.

Puerto	Los países	Hub global	Hub Subregional	Eje subregional
Terminal de contenedores de Kingston	Jamaica	A		
Puerto Libre	Bahamas	A		
Manzanillo	Panamá	A		
Colon	Panamá	A		
Caucedo	República Dominicana	A		
Cartagena	Colombia	A		
Puerto de España	Trinidad		a	
Point Lisas	Trinidad		a	
Muelles de Kingston	Jamaica		a	
Bridgetown	Barbados			A
Río Haina	República Dominicana			A
Puerto Plata	República Dominicana			A
La Romana	República Dominicana			A
Boca chica	República Dominicana			A
Georgetown	Islas Caimán			A
San Juan	Antigua y Barbuda			A
Castries	Santa Lucía			A
Vieux Fort	Santa Lucía			A
George Town	Guayana			A
la Habana	Cuba			A
Willemstad	Curazao			A
Point-A-Pitre	Guadalupe			A

**Tabla 2.16 Clasificación de los puertos del Caribe en función de las funciones que desempeñan dentro de la red naviera mundial (Pinnock y Ajagunna 2012).**



**Figura 2.22 Tendencias en el crecimiento del rendimiento de contenedores para (A) la Región del Gran Caribe y (B) el Caribe Insular. (Fuente de datos de entrada: CEPAL).**

Dado el contexto anterior, y a pesar de la falta de evaluaciones de la huella ambiental del transporte marítimo en general, y en la Región del Gran Caribe en particular, se publicaron estudios sobre los desechos de nutrientes de los buques portacontenedores que operan en otras partes del mundo o en otras formas de transporte marítimo. Los desechos emitidos en la RGC pueden servir como sustitutos para

proporcionar información preliminar sobre cómo los buques de transporte contribuyen a la contaminación por nutrientes.

Parks y col. (2019) examinaron el petróleo, las aguas residuales y las aguas grises producidas por embarcaciones en el norte del mar de Bering. Su estudio proporciona datos empíricos que se pueden utilizar para informar a los modelos para estimar corrientes de desechos similares en otros lugares (Tablas 2.17 y 2.18).

**Tabla 2.17 Estimación de las aguas residuales generadas por los barcos en el norte del mar de Bering desde el 1 de junio hasta el 31 de octubre de 2014-2017 (Parks et al.2019).**

Vessel Type	Daily Average Vessel Count	Average Number of Passengers and Crew [37]	Sewage Generation Rate Per Person (liters/day) <sup>a</sup>	Daily Sewage Generation Per Vessel (liters/day)	Daily Sewage Generation Per Vessel Type (liters/day)	Annual Sewage Generation Per Vessel Type (liters/season) <sup>c</sup>
Fishing	37.2	7	34	238	8880	1,358,715
Passenger	0.6	266.3 <sup>b</sup>	34	9072	5741	878,417
Cargo	5.9	25	34	852	5058	773,944
Towing Plus Long/Wide	11.7	6	34	204	2390	365,671
Tanker	1.8	25	34	852	1526	233,486
Tug	2.9	6	34	204	584	89,428
Total	60.1				24,181	3,699,662

<sup>a</sup> A European Maritime Safety Agency study said that anywhere between 0.01 and 0.06 cubic meters should be considered black water. Using the mid-point of 0.03 cubic meters, this is approximately 8 gallons [38].

<sup>b</sup> Based on a weighted average of passengers and crew on 25 small to medium passenger vessels and 1 large passenger vessel that operated in the northern Bering Sea from June 1 to Oct. 31, 2014–2017. This weighted average is highly dependent on the number of high capacity passenger vessels; as their numbers increase, so too will the average number of passengers and crew.

<sup>c</sup> These calculations are based on the open water season that takes place, generally, between June 1 and October 31, or 153 days.

**Tabla 2.18 Estimaciones de aguas grises generadas por embarcaciones en el norte del mar de Bering desde el 1 de junio hasta el 31 de octubre (2014-2017) (Parks et al.2019).**

Vessel Type	Daily Average Vessel Count	Average Number of Passengers and Crew [37]	Grey water Generation Rate Per Person (liters/day) [37]	Daily Grey water Generation Per Vessel (liters/day)	Daily Grey Water Generation Per Vessel Type (liters/day)	Annual Grey Water Generation Per Vessel Type (liters/season) <sup>b</sup>
Fishing	37.2	7	170	1192	44,403	6,793,595
Passenger <sup>a</sup>	0.6	266.3	246	65,524	41,465	6,344,130
Cargo	5.9	25	170	4259	25,292	3,869,730
Towing plus Long/Wide	11.7	6	170	1022	11,950	1,828,362
Tanker	1.8	25	170	4259	7630	1,167,434
Tug	2.9	6	170	1022	2923	447,144
Total	60.1				133,663	20,450,395

<sup>a</sup> Based on a weighted average of passengers and crew on 25 small to medium passenger vessels and 1 large passenger vessel that operated in the northern Bering Sea from June 1 to Oct. 31, 2014–2017. This weighted average is highly dependent on the number of high capacity passenger vessels; as their numbers increase, so too will the average number of passengers and crew.

<sup>b</sup> These calculations are based on the open water season that takes place, generally, between June 1 and October 31, or 153 days.

Un componente de las aguas grises entre los buques es el desperdicio de alimentos. Bien et al (2016) encontraron que el desperdicio de alimentos entre los barcos de pasajeros en el Mar Báltico, que es un Área Especial MARPOL (Anexo IV-Alcantarillado). El estudio encontró que las cargas de desperdicio de alimentos contribuyeron con el 52% de la carga de nitrógeno proveniente de las aguas residuales generadas por los barcos.

La gestión de las aguas residuales en áreas sensibles como el Báltico perdería la marca en la misma medida si no se tiene en cuenta la carga de residuos de alimentos. Los Tablas 2.19 y 2.20 proporcionan cargas

teóricas de nitrógeno y fósforo basadas en medidas empíricas de residuos de alimentos y en comparación con las cargas de aguas residuales.

**Tabla 2.19 Cargas anuales estimadas de nitrógeno y fósforo de desechos de alimentos con alto contenido de nutrientes generados a bordo de buques de carga en el Mar Báltico (Bien et al. 2016).**

Ship type	N [tonnes/year]	P [tonnes/year]
Ferry ships	29.6	5.5
Cruise ships	118.23	21.99
Cargo ships	34.58	6.43
Sum	182.41	33.94

**Tabla 2.20 Cargas anuales estimadas de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales descargadas generadas a bordo de buques de carga en el Mar Báltico (Bien et al. 2016). Supuestos: excreción de 15 gN / persona-día y 5 gP / persona-día (Hänninen y Sassi, 2009).**

Ship type	N [tonnes/year]	P [tonnes/year]
Ferry ships	112.5	37.5
Cruise ships	107.25	35.75
Cargo ships	131.4	43.8
Sum	351.15	117.05

Para automatizar la estimación de la generación de aguas residuales por grandes embarcaciones, Chen et al (2018) describe un método, esencialmente creando un Inventario de Descarga de Contaminantes de Aguas Residuales. La metodología se basa en el requisito del Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS) para los buques de alta mar mayores o iguales a 300 toneladas brutas, construidos el 1 de julio de 2002 o posteriormente, y todos los buques de pasaje deben estar equipados con un equipo del Sistema de identificación automática de buques (AIS). Este equipo habilitado para el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) reúne todas las especificaciones técnicas de la embarcación, incluidos los datos dinámicos asociados con el Grado de Actividad de la Nave (DSA) en tiempo y espacio real. Específico para el cálculo de la producción de aguas residuales, el número de tripulantes a bordo, el DSA, la eficiencia del dispositivo de tratamiento de aguas residuales, se encuentran entre los parámetros de entrada para completar fórmulas para calcular la producción de aguas residuales y las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales sin tratar y en el efluente tratado. Para que estos datos sean útiles para monitorear y evaluar las aguas residuales de los barcos, debe haber regulaciones que salvaguarden la integridad y el uso de los datos, incluida su utilidad en las medidas de cumplimiento.

En el caso de los derrames de petróleo, Singh et al (2015) evaluaron el riesgo de derrames de petróleo de las actividades de transporte marítimo en el Mar Caribe, incluidas las de los petroleros, los petroleros, los portacontenedores y los cruceros. Si bien los planes nacionales pueden responder a los riesgos respectivos de un estado o territorio insular de cada una de las actividades marítimas evaluadas (Figura 2.23), los

autores piden una política coordinada, y que puede coordinarse adecuadamente con los Protocolos del Convenio de Cartagena sobre Derrames de Hidrocarburos, y Áreas y Flora y Fauna Silvestres Especialmente Protegidas (SPAW).

### **2.11 Fuentes de nutrientes: observaciones finales**

En el centro de la contaminación por nutrientes se encuentran los patrones de consumo, impulsados por la agricultura, los aumentos demográficos y la urbanización, y por el transporte marítimo para el ocio o el comercio. Como tal, se pueden lograr reducciones significativas en los flujos de nutrientes transformando el consumo de alimentos y materiales dentro de la rúbrica de una economía circular.

En el caso de los residuos domésticos, la innovación en la recogida (por ejemplo, la separación de los residuos líquidos y sólidos y el compostaje que comienza en la fuente doméstica), y el reciclaje de ambos componentes, pueden ahorrar agua y minimizar los vertidos de nutrientes y patógenos.

En la agricultura, la ampliación de los objetivos de la reglamentación medioambiental desde el mero consumo de productos a la protección del ecosistema puede cambiar la trayectoria actual hacia una vía más sostenible. Por un lado, los fertilizantes pueden aplicarse en función de la eficiencia de uso del nitrógeno y el fósforo de los cultivos objetivo. En cuanto a los plaguicidas, se debe utilizar la cantidad mínima de profilaxis para salvaguardar los cultivos, los biomas del suelo y los trabajadores agrícolas, no sólo los consumidores. Las consiguientes reducciones en la aplicación de fertilizantes y plaguicidas reducirían los costes económicos y medioambientales de la agricultura, mejorando el bienestar tanto del ser humano como del ecosistema.

En el ámbito del transporte marítimo (turismo de cruceros, yates y buques de carga), el vertido no regulado de residuos en aguas de la plataforma en las proximidades de ecosistemas costeros poco profundos, como los arrecifes de coral y las praderas marinas, socavarán las economías azules de los estados y territorios insulares y continentales. La regulación de los vertidos de aguas residuales en una zona especialmente sensible como la Región del Gran Caribe debería ser reexaminada para que la región pueda solicitar su designación como Zona Especial del Anexo IV de MARPOL, al igual que el Mar Báltico. Dicha designación permitiría una regulación más estricta de las prácticas de vertido de aguas residuales de los buques en el marco normativo existente del MARPOL, y se sumaría a su designación como Zona Especial del Anexo V del MARPOL- Basura, que entró en vigor desde el 1 de mayo de 2011.

El reto de reducir las fuentes de nutrientes es grande. Los riesgos de la contaminación por nutrientes no disminuida para los ecosistemas y las economías son reales (capítulo 3). El escenario de seguir como hasta ahora ya no puede ser una opción sostenible. Con una Secretaría del Convenio de Cartagena funcional y proactiva, pueden establecerse mecanismos regionales para movilizar a los países y territorios, aprovechando las capacidades nacionales existentes (capítulo 4), y para fomentar la colaboración y las asociaciones en la aplicación de una estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes (capítulo 5).

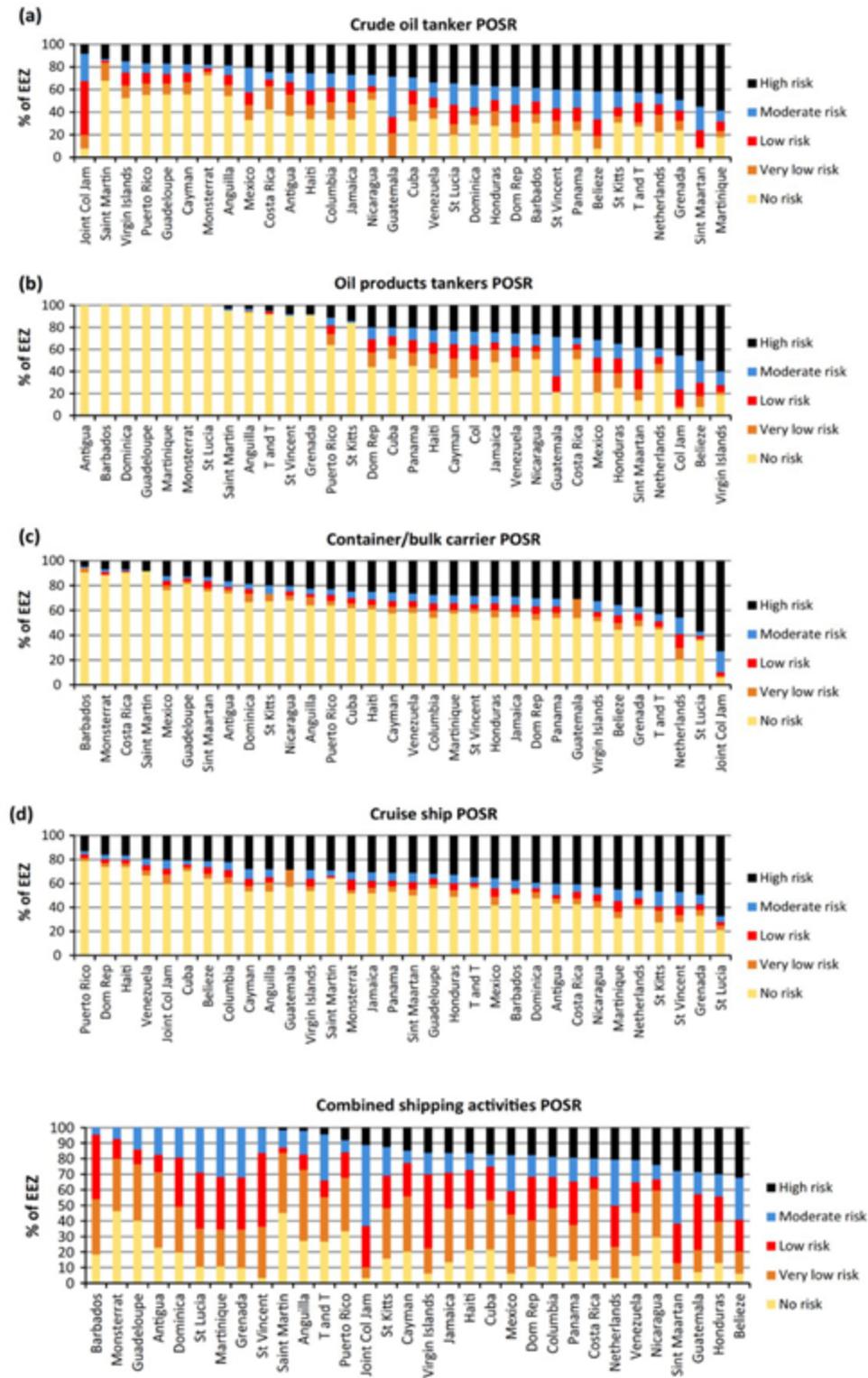


Figura 2.23 Evaluaciones del riesgo potencial de derrame de petróleo por actividad de transporte marítimo: (a) petrolero de crudo; (b) Buque cisterna de productos petrolíferos, (c) portacontenedores, (d) crucero, y (e) actividades combinadas. (Fuente: Singh et al., 2015).

### 3 IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE

Las aguas costeras y marinas de la Región del Gran Caribe están sometidas a múltiples factores de estrés, entre ellos la contaminación por nutrientes. Al evaluar los impactos de la contaminación por nutrientes, se analizan las respuestas de primer orden en términos de cambios físicos y ecológicos (calidad del agua, cambios organísmicos, poblacionales y ecosistémicos). La superposición del calentamiento del clima y las interacciones de los regímenes de nutrientes modificados con los fenómenos relacionados con el clima, como la desoxigenación y la acidificación, junto con los cambios en la circulación oceánica, pueden amplificar o amortiguar estos impactos de primer orden en diversos grados. Los factores de estrés antropogénicos, como la sobrepesca y el desarrollo costero, tienden a aumentar las consecuencias inducidas por los nutrientes.

Los impactos de la contaminación por nutrientes en la sociedad, tanto social como económicamente, pueden ser directos o indirectos, y a menudo están en consonancia con otros factores de estrés. El objetivo de este capítulo es destacar los aspectos en los que la ciencia es inequívoca a la hora de atribuir los impactos al exceso de nutrientes como agente de cambio dominante. También subraya las interacciones hipotéticas que pueden tener las cargas excesivas de nutrientes con otros factores de estrés, como los cambios en la circulación oceánica, que pueden exacerbar las cargas localizadas de nutrientes con el transporte lateral o vertical de las aguas enriquecidas con nutrientes, lo que en conjunto da lugar a impactos potencialmente muy amplificados. Muy a menudo, aunque la atribución por impacto ayuda a identificar acciones estratégicas, lo más crucial es enmarcarlas para abordar las propiedades a escala del ecosistema, que a menudo abordan las interacciones más que los agentes causales individuales.

#### 3.1 IMPACTOS ECOLÓGICOS

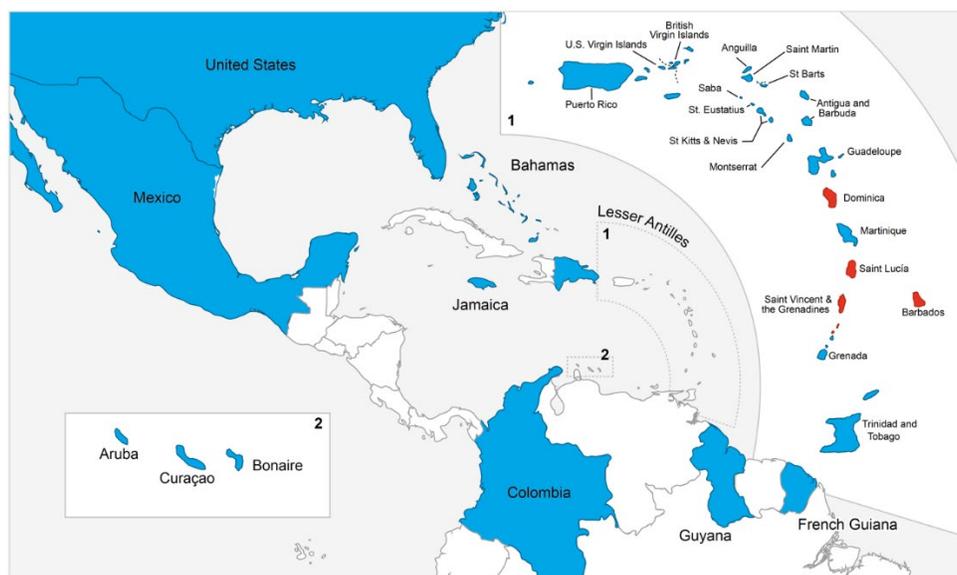
##### 3.1.1 La contaminación por nutrientes degrada la calidad del agua

Un ejercicio clave en la evaluación del Informe sobre el Estado del Área del Convenio de Cartagena para las fuentes terrestres de contaminación completado en 2019 fue la solicitud de conjuntos de datos nacionales sobre la calidad del agua costera por parte de la Secretaría del Convenio a los países de la Región del Gran Caribe (PNUMA-PAC, 2019). Los datos sobre unos 70 parámetros de calidad del agua fueron proporcionados por 16 países/territorios, 9 de los cuales eran Partes en el Protocolo sobre fuentes terrestres (FTCM) y que se encuentran en las subregiones I, III, IV y V de la RCM (Figura 3.1). Los países de la subregión II (América Central) no presentaron datos, lo que deberá abordarse en los próximos informes de SOCAR. La cobertura de datos entre estos conjuntos de datos fue desigual y no uniforme a través de los parámetros o el tiempo (2009-2016). Los autores principales de SOCAR procesaron y analizaron los conjuntos de datos nacionales por sitio y por estaciones (estación húmeda: mayo a diciembre; estación seca: enero a abril), y por geografía hasta el primer nivel de división administrativa. Los promedios estacionales de los parámetros individuales a nivel de sitio se evaluaron utilizando las normas adaptadas por el Grupo de Trabajo de FTCM. Las calificaciones resultantes de los sitios agrupados en el primer nivel administrativo y por país se muestran en las siguientes secciones.

En este informe se destacan los parámetros relativos a los nutrientes, ya que representan una evaluación cuantitativa basada en indicadores de la calidad del agua en algunas aguas costeras de la Región del Gran Caribe. Entre ellos se encuentran el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), el fósforo inorgánico disuelto (DIP), la clorofila a, los patógenos entéricos *Escherichia coli* y *Enterococcus* sp, los sólidos suspendidos totales (SST), el oxígeno disuelto en el fondo y el pH. La evaluación de SOCAR utilizó las normas referidas

en el Informe sobre el Estado de las Costas de Estados Unidos (2208) y el Anexo III del Protocolo de Fuentes Terrestres del Convenio (FTCM).

En el caso de algunos países que hicieron un programa de seguimiento diseñado estadísticamente, los resultados específicos del lugar pueden generalizarse a las aguas costeras nacionales. Este no es el caso de todos los datos presentados. En consecuencia, los resultados presentados aquí no pueden generalizarse a las aguas costeras de la Región del Gran Caribe. Uno de los objetivos de los informes periódicos de SOCAR es proporcionar un estado verdaderamente regional del Área del Convenio de Cartagena, lo que sólo podrá lograrse cuando la mayoría de los países/territorios sean capaces de aplicar un programa nacional de seguimiento de la contaminación.



**Figura 3.1 Países y territorios que presentaron conjuntos de datos nacionales sobre la calidad del agua (sombreados en azul). Los datos de los países insulares resaltados en rojo se obtuvieron de la Agencia de Salud Pública del Caribe (CARPHA).**

***Concentraciones empíricas de DIN y DIP.*** Una vez descargados en las cuencas receptoras costeras, los nutrientes y otros materiales transportados por el agua de la cuenca se diluyen en las aguas costeras en concentraciones que son netas de la retención en la desembocadura del río y del transporte y la circulación locales. Entre las formas de nutrientes en partículas, orgánicas disueltas e inorgánicas disueltas, el nitrógeno N y el fósforo P, las formas inorgánicas disueltas son las más fácilmente absorbidas en el proceso de fotosíntesis. El N inorgánico en los sistemas acuáticos está disponible biológicamente, pero el P inorgánico puede ser adsorbido a las partículas suspendidas y sedimentadas (Howarth et al 2021). Los nutrientes disueltos disponibles alimentan el crecimiento inmediato de las plantas y las poblaciones de algas aumentan de tamaño como resultado. En la figura 3.2 se muestran los sitios de monitoreo evaluados para el DIN y el DIP usando los estándares de toda la Región del Caribe Occidental. Los valores de DIN en la estación húmeda en todos los sitios de muestreo reportados alrededor de Trinidad y Tobago y la República Dominicana parecen haber excedido los estándares y son calificados como Pobres para este indicador (Figura 3.2A). Para el DIP, casi todos los sitios de muestreo insulares y un tercio de los sitios costeros de los países continentales no cumplieron con los estándares de Bueno o Regular (Figura 3.2B). Aunque estos patrones no pueden generalizarse a escala nacional debido a la limitada cobertura espacial o para determinar que estos estados son persistentes a lo largo de las estaciones o los años, los datos iniciales publicados indican que la mala calidad del agua debido al

aumento de las concentraciones de nutrientes disueltos se produce en ciertos sitios muestreados durante la estación húmeda, cuando se supone que los aportes de nutrientes son mayores. Estos lugares deberían ser objeto de un seguimiento periódico, especialmente debido a su proximidad a las cuencas fluviales y/o a su influencia en ellas, que han sido evaluadas como de alto potencial de eutrofización (véase la sección 3.1.2).

**Clorofila a.** Como pigmento vegetal principal, la concentración de clorofila a sigue el crecimiento de las microalgas portadoras de pigmentos verdes en respuesta a los regímenes de nutrientes de la columna de agua. Entre los sitios insulares tropicales que no están influenciados por los grandes ríos, las aguas suelen ser oligotróficas y las concentraciones de clorofila a son bajas, como indica el rango de evaluación para las islas. En el caso de las islas con datos, ningún emplazamiento fue calificado como malo, pero los 17 emplazamientos de Guadalupe se encontraban en estado regular (Figura 3.3). Entre los emplazamientos de los países continentales, México, EE.UU. y Colombia mostraron excesos que merecieron la calificación de "pobre" en algunos de sus emplazamientos de seguimiento. Las coincidencias en el espacio con las desembocaduras de los ríos evaluadas con altos índices de potencial de eutrofización deberían ser objeto de una evaluación periódica por parte de los equipos nacionales de seguimiento para determinar si estos estados iniciales son persistentes. En el caso de las islas, la escorrentía y las fuentes puntuales críticas, junto con la circulación local, pueden ayudar a explicar las concentraciones actuales de pigmentos. Los estados persistentes de altas concentraciones de clorofila deberían abordarse dentro de programas más amplios de reducción de la contaminación por nutrientes.

**Patógenos entéricos.** La presencia de patógenos cloacales en las aguas costeras indica la liberación de aguas residuales domésticas no tratadas o parcialmente tratadas, incluida la escorrentía pastoral que contiene material fecal del ganado. Las reducciones de patógenos fecales reducen los riesgos de transmisión de enfermedades diarreicas, que comprenden una importante preocupación sanitaria en América Latina y el Caribe (Furmeister et al. 2015; Colaboradores de GBD, 2016) (véase la sección 3.x sobre impactos sociales). Utilizando un estándar binario Bueno-Pobre para *Enterococcus* y *Escherichia coli* (Figura 3.4A), todos los países evaluados tenían sitios con superaciones en los recuentos de patógenos aceptables (Figura 3.4B y C). Las estimaciones del inventario de aguas residuales, los resultados del modelo IMAGE-GNM y estas observaciones empíricas presentan un conjunto inequívoco de pruebas de que las aguas residuales y la materia fecal animal están presentes en las aguas costeras de los países evaluados en cantidades suficientemente elevadas como para incumplir las normas de calidad del agua. Las implicaciones para la salud pública, así como las pérdidas potenciales de ingresos por turismo que dominan las economías insulares, no pueden subrayar lo suficiente la aguda necesidad de abordar la contaminación por aguas residuales como un componente integral de una economía circular de nutrientes. La tecnología de tratamiento de aguas residuales de nivel 3 puede eliminar nutrientes y patógenos, pero los costes de la tecnología y el mantenimiento son exorbitantes para los estados en desarrollo, insulares o continentales. Las tecnologías más sencillas, como los inodoros de compostaje, son una alternativa potencial, pero deben contar con una infraestructura de apoyo a nivel local para que sean viables a escala de cuenca (US EPA 1999). Otras tecnologías de coste relativamente bajo que recogen la escorrentía urbana, como los jardines de lluvia, los barrizales con vegetación y los humedales construidos, entre otros, pueden ayudar a mejorar las fuentes de escorrentía, pero no las fuentes puntuales. Mejor aún, un plan más exhaustivo para recuperar los nutrientes del material de desecho compostado para su posible uso como insumos agrícolas orgánicos bajo estrictas normas de seguridad sanitaria y medioambiental puede proporcionar los incentivos tan necesarios y señalar el camino hacia un enfoque más circular y holístico de la recuperación de nutrientes de desecho, la reutilización y la reducción de la contaminación por nutrientes.

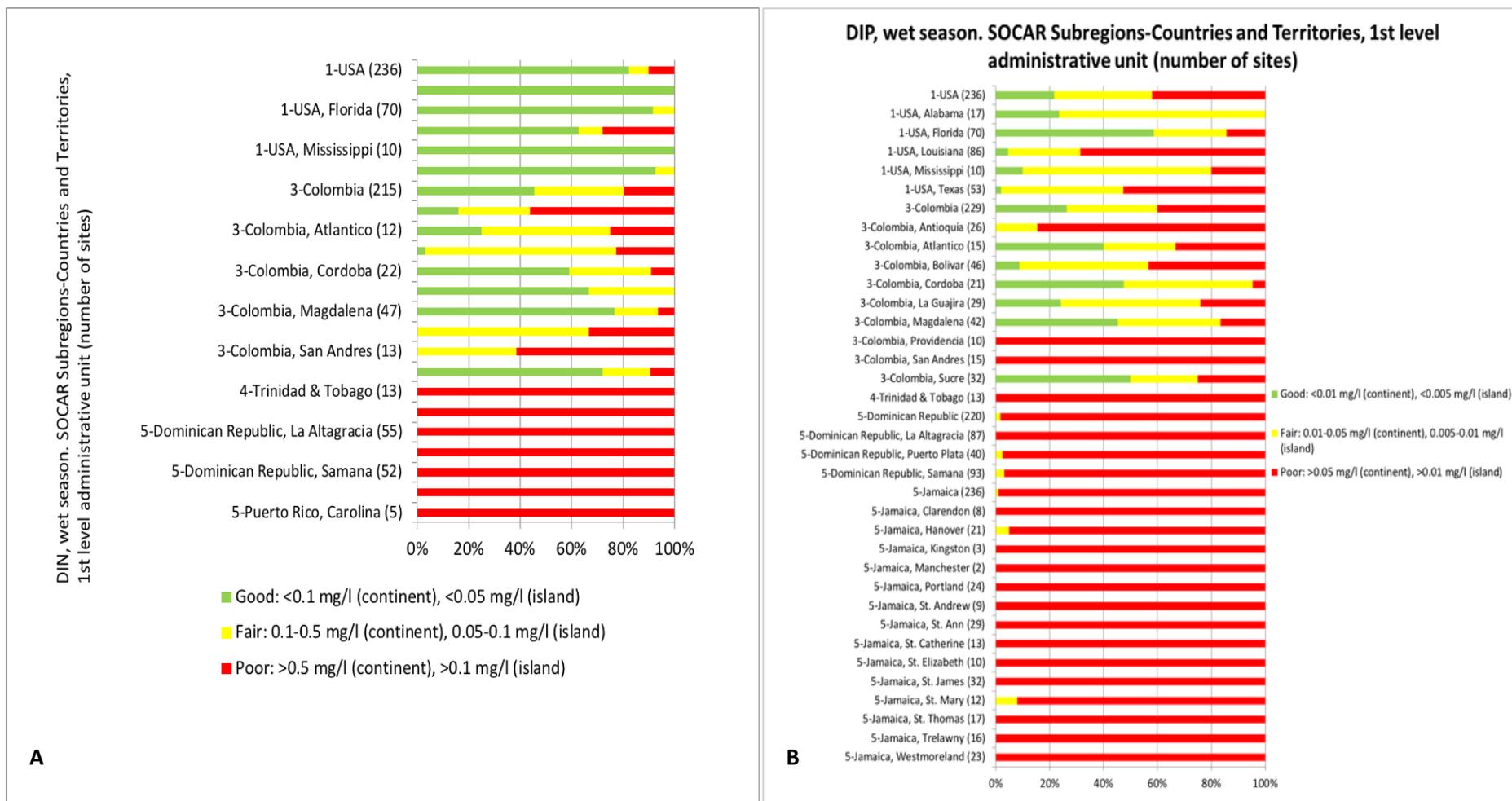
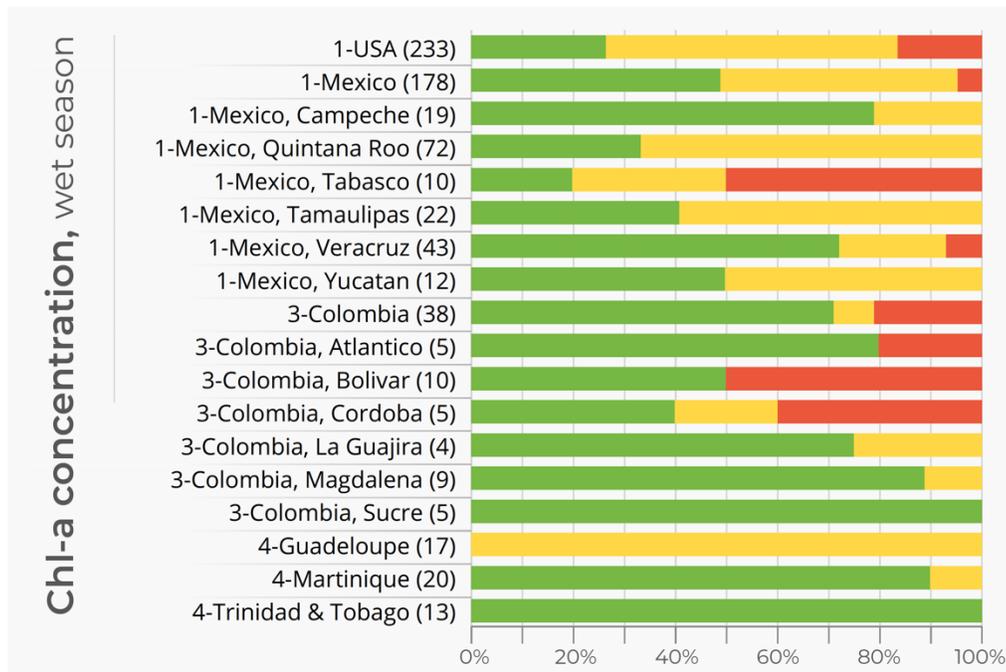


Figura 3.2 Sitios de monitoreo durante la estación húmeda mostrando sitios buenos, regulares y pobres para: A. Nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), B. Fósforo inorgánico disuelto (DIP). La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, País/Territorio, Unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados).

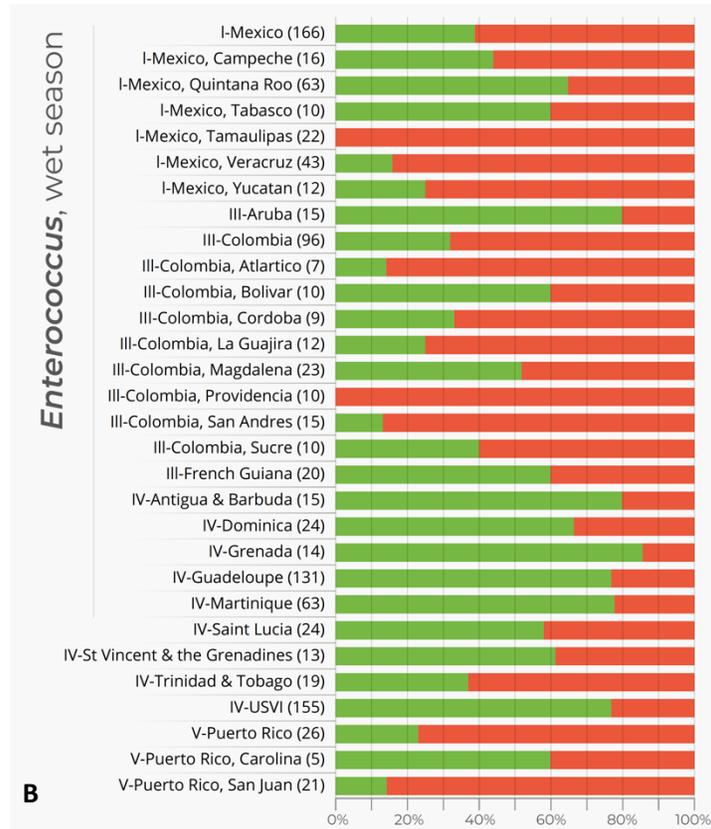


Status	Continental µg l <sup>-1</sup>	Island µg l <sup>-1</sup>
Good	<5.0	<0.5
Fair	5.0 to 20.0	0.5 to 1.0
Poor	>20.0	>1.0

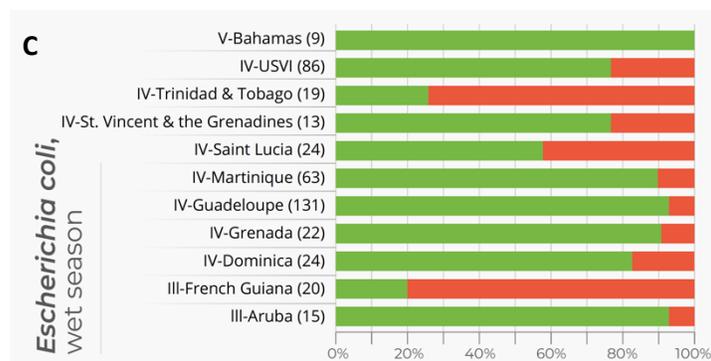
**Figura 3.3** Lugares de seguimiento de la clorofila a en la estación húmeda. La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, País/Territorio, Unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados).

Organism	Acceptable range	Outside of acceptable range	References
Enterococcus	<35 CFU/100 ml	>35 CFU/100 ml	LBS Protocol Annex III – Discharges into Class I Waters UNEP-CAR (2014). Report of the Working Group on Environmental Monitoring and Assessment 2013- 2014. UNEP (DEPI)/CAR WG.35/INF.5
E. coli	0-126 MPN/100ml	>126 MPN/100ml	WHO (2003). Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1: Coastal and fresh waters. 219 pp.

**A**



**B**



**C**

**Figura 3.4** Evaluación de los sitios de monitoreo de patógenos entéricos utilizando estándares binarios (Panel A) durante la estación húmeda. El panel B muestra el estado de los sitios para *Enterococcus*, y el panel C para *E. coli*.

La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, País/Territorio, Unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados).

**Turbidez.** La turbidez es una propiedad óptica de los líquidos que se determina por la cantidad de material, disuelto o suspendido, que dispersa la luz que atraviesa la muestra de agua. Las medidas de turbidez pueden incluir las concentraciones de sólidos totales en suspensión y disueltos, o la cantidad de luz que penetra en profundidad utilizando un medidor de luz, o un disco de Secchi. En los lugares de control que son naturalmente turbios debido a la influencia fluvial, no son aplicables las normas de SST. En las aguas donde se encuentran naturalmente los arrecifes de coral y que dependen de una buena penetración de la luz en aguas que tienden a ser bajas en nutrientes y clorofila, los estándares de SST se utilizan para evaluar la calidad del agua junto con otros indicadores. En la evaluación de SOCAR, el rango aceptable para la turbidez era de 0 a 1,5 NTU (Unidades de Turbidez Nefelométrica), y no se aplicó en zonas que son naturalmente turbias. Estas zonas incluyen Trinidad y Tobago (Golfo de Paria), toda la costa de la Guayana Francesa, Colombia y todos los estados costeros de México, excepto las costas de Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

Los resultados de la evaluación con datos de la estación húmeda indican superaciones en todos los sitios excepto en Guadalupe (Figura 3.5). En el caso de la República Dominicana y Jamaica, los elevados rendimientos de SST procedentes de la erosión de la tierra, tal y como muestran los resultados del modelo Global NEWS (sección 2.8), pueden explicar las elevadas concentraciones de SST en la columna de agua, especialmente durante los periodos de lluvia. En las zonas en las que la erosión de la tierra no es significativa, la turbidez puede explicarse por las elevadas cantidades de materia disuelta o por el importante crecimiento de las plantas a partir de regímenes ricos en nutrientes en la columna de agua. La resuspensión y las corrientes de marea pueden aumentar los flujos laterales.

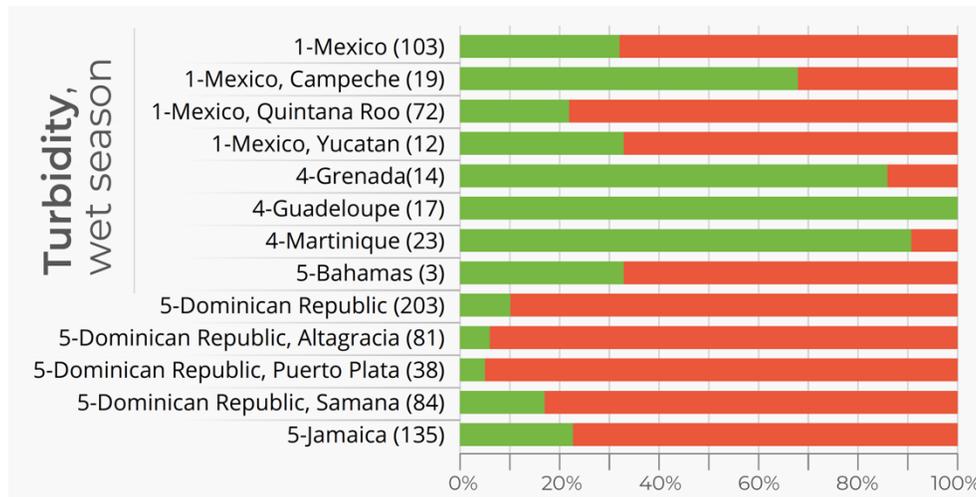
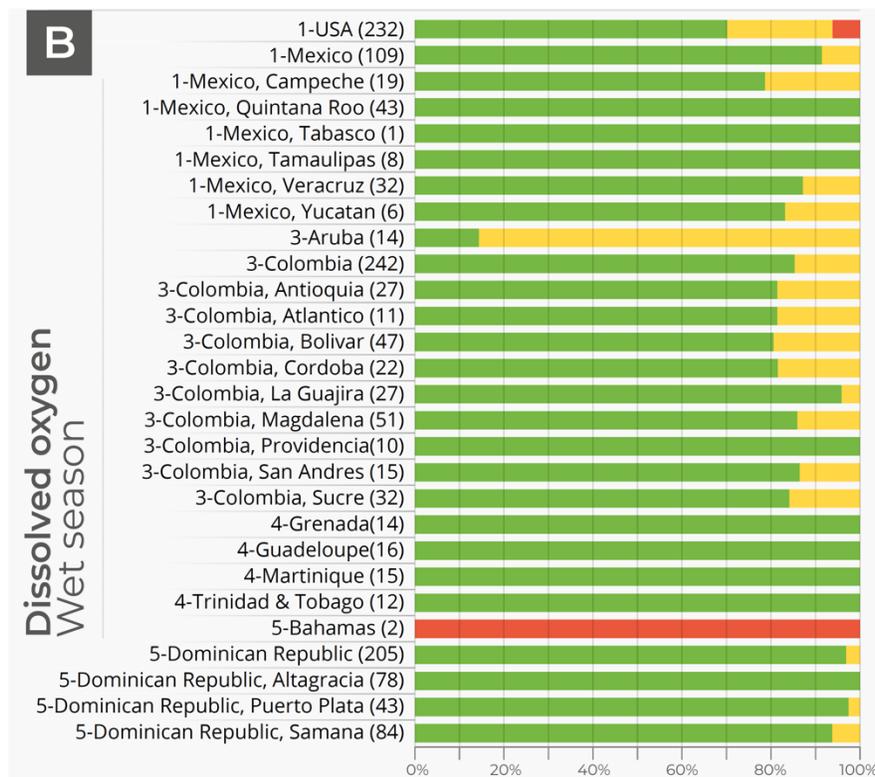


Figura 3.5 Evaluación de SOCAR de la turbidez en los sitios monitoreados durante la estación húmeda. La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, país/territorio, unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados). Rango aceptable: 0 - 1,5 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

**Oxígeno disuelto.** El oxígeno disuelto en el fondo (OD) se utiliza para indicar la concentración de oxígeno disuelto en profundidad y que es fundamental para la respiración aeróbica de los organismos, incluidos los peces y los mariscos. Se utiliza un límite fisiológico de 2 mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, por debajo del cual los organismos acuáticos se ven perjudicados. Los rangos de evaluación utilizados en SOCAR son Buena cuando la DO es > 5 mg L<sup>-1</sup>; Regular cuando la DO es 2-5 mg L<sup>-1</sup>; y Mala cuando la DO está por debajo del

límite fisiológico de 2 mg L<sup>-1</sup>. Las aguas poco profundas suelen estar bien oxigenadas y bien mezcladas al interactuar el agua con el viento. Durante el verano, las aguas pueden estratificarse y la capa inferior puede no recibir suficiente oxígeno más allá de la difusión para reponer la demanda biótica de oxígeno. Durante las floraciones de fitoplancton, la biomasa vegetal no consumida se deposita en el fondo y sufre descomposición, un proceso que consume oxígeno y puede dar lugar a zonas de bajo oxígeno, también conocidas como zonas hipóxicas. Por ello, la mejor forma de evaluar el OD del fondo es junto con otros parámetros de calidad del agua para cada lugar y temporada, incluidos los nutrientes y la clorofila a, para detectar los ciclos de floración, entre otros, durante los cuales el OD puede descender por debajo de niveles perjudiciales para la columna de agua y la biota bentónica.

La evaluación de SOCAR de los sitios de monitoreo de DO en la estación húmeda indica que 2 sitios en las Bahamas y 14 sitios en los Estados Unidos son deficientes en oxígeno. Estos últimos coinciden con la zona hipóxica del Golfo de México. (Figura 3.6). En general, el oxígeno disuelto parece ser suficiente para la respiración aeróbica, excepto en la zona hipóxica del interior del Golfo de México. El caso de las Bahamas necesitaría una mejor cobertura geográfica y temporal para determinar la persistencia del estado hipóxico.

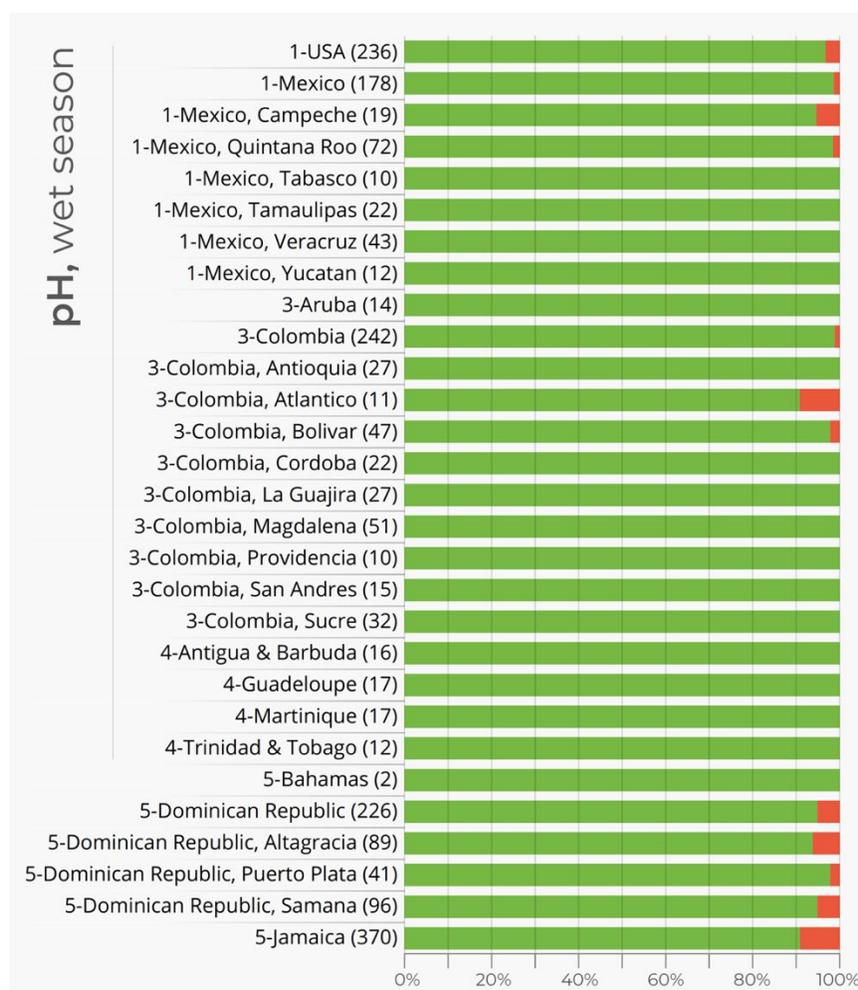


**Figura 3.6 Evaluación de SOCAR de los sitios de monitoreo de oxígeno disuelto (OD) en el fondo durante la estación húmeda. La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, país/territorio, unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados). Rangos de evaluación: Bueno cuando el DO es > 5 mg L<sup>-1</sup>; Regular cuando el DO es 2-5 mg L<sup>-1</sup>; y Pobre cuando el DO está por debajo del límite fisiológico de 2 mg L<sup>-1</sup>.**

**pH.** La acidez de los líquidos mide la concentración de iones H<sup>+</sup> en una escala logarítmica. Se dice que un pH de 7 es neutro, y las medidas inferiores a 7 se consideran ácidas; las superiores a 7 se consideran básicas. La concentración de iones H<sup>+</sup> es inversamente proporcional a su pH; cuantos más iones H<sup>+</sup> haya, menor será el pH, mayor será la acidez. El pH medio de los océanos era de 8,2 antes de la Revolución

Industrial; la media actual es de 8,1, lo que supone un aumento del 26% de la acidez, en gran parte debido al calentamiento del clima, ya que el océano actúa como sumidero de aproximadamente el 25% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>.

Para la evaluación de SOCAR de los sitios de monitoreo para el pH durante la estación húmeda, el rango aceptable utilizado fue entre 6,5 y 8,5. En general, los lugares costeros evaluados estaban dentro del rango aceptable (Figura 3.7). Los sitios con pH bajo fueron los ubicados en Luisiana, Estados Unidos, y en St. La descomposición de los restos de las floraciones de algas a través de la respiración microbiana puede reducir el pH hasta en 0,05 unidades, como sería el caso de la zona hipóxica bajo el río Misisipi (Cai et al, 2011). La acidificación inducida por la eutrofización, se suma a la acidificación oceánica que es impulsada por el CO<sub>2</sub> antropogénico atmosférico que se disuelve en las aguas oceánicas.



**Figura 3.7 Evaluación de SOCAR de los sitios de monitoreo del pH durante la estación húmeda. La nomenclatura de los sitios indica: Subregión RGC, país/territorio, unidad administrativa de primer nivel (número de sitios evaluados). Rango aceptable: 6,5 a 8,5.**

***Integrar las evaluaciones basadas en indicadores individuales.*** La evaluación de los sitios, tal y como se ha presentado anteriormente, es un paso necesario para iniciar la evaluación periódica del impacto de las fuentes de contaminación terrestres sobre la RGC. En el futuro, el Grupo de Trabajo sobre FTCM tendrá que desarrollar un marco conceptual que permita integrar los resultados de la evaluación por parámetro

en un índice o grado ecológico para cada sitio de monitoreo. Dado el diseño de los programas nacionales de monitoreo que son estadísticamente robustos, los sitios representativos cuando se evalúan, podrían generar estados ecológicos a escala de sitio a un estado generalizado de las aguas costeras nacionales. Cuando se agrega a la escala de las subregiones, puede surgir una imagen más representativa del estado ecológico de las aguas costeras de la región de la RGC. Estas iniciativas nacionales pueden complementarse con modelos globales y regionales que ayuden a integrar las tendencias empíricas y los resultados de la modelización a escala regional y global, dadas las dimensiones espaciales más amplias y temporales más largas que los modelos suelen subsumir, y a seleccionar los lugares prioritarios para la mitigación y para la protección.

La evaluación de la calidad del agua basada en un seguimiento estadísticamente sólido de lugares representativos es un componente de una evaluación global del medio ambiente costero y de los ecosistemas que lo componen. Como tal, el seguimiento y la evaluación de los hábitats clave en el marco del Protocolo de Zonas Especiales y Vida Silvestre (SPAW) del Convenio de Cartagena, pueden integrarse, para proporcionar un estado general del medio ambiente en la región de la RGC. Esta integración de los componentes ecológicos (atributos de la columna de agua, características del hábitat y de la biodiversidad de los ecosistemas bentónicos y pelágicos) y la identificación de los lugares tanto por su biodiversidad como por su vulnerabilidad a las fuentes terrestres de contaminación, en particular los nutrientes y los agentes patógenos, constituyen los fundamentos científicos necesarios para elaborar estrategias y planes de acción. A nivel de la Secretaría del Convenio de Cartagena, se están llevando a cabo iniciativas para integrar las evaluaciones basadas en el Protocolo del Convenio, y con la visión de hacer que los informes de datos y las evaluaciones de los mismos se apliquen de forma más sostenida y operativa dentro de una rúbrica general de gestión adaptativa.

### **3.1.2 La contaminación por nutrientes provoca la eutrofización de las aguas costeras**

Uno de los conjuntos de datos globales a los que se accedió durante la evaluación de SOCAR fue el conjunto de datos Global NEWS V2 de Mayorga et al (2010). Proporciona estimaciones de cargas de formas inorgánicas y orgánicas disueltas de nitrógeno (DIN, DON), fósforo (DIP, DOP), carbono orgánico disuelto y en partículas, y sílice disuelto para el año modelo 2000. Estos parámetros de entrada permiten estimar el Índice de Potencial de Eutrofización Costera (ICEP) específico de los nutrientes, la nueva producción de biomasa de algas no silíceas potencialmente sostenida en la masa de agua costera receptora por el nitrógeno o el fósforo suministrado en exceso sobre la sílice (Billen y Garnier 2007). El conjunto de datos proporciona datos para 261 cuencas que drenan el RGC con una resolución de 0,5 X 0,5. El ICEP es un índice que marca un hito, ya que ha sido adoptado como indicador clave para evaluar el estado del medio marino en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. El Objetivo de Desarrollo Sostenible nº 14 -Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible- incluye la meta 14.1 de "prevenir y reducir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, en particular la procedente de actividades terrestres, incluidos los desechos marinos y la contaminación por nutrientes" para el año 2025.

El ICEP específico de nutrientes compara la disponibilidad de todas las formas de N, P y sílice (Si) en las cargas para promover el crecimiento del fitoplancton no silíceo cuando el N y el P se suministran en exceso de Si, basándose en las relaciones molares de Redfield de carbono C: nitrógeno N: fósforo P: Si de 106C: 16N: 1P: 20Si. Cuando las entregas de nutrientes siguen la relación de Redfield, se presume que se favorece el fitoplancton portador de sílice llamado diatomeas. Cuando hay un exceso, el fitoplancton que no contiene sílice, como los dinoflagelados, se ve favorecido para proliferar. Otras condiciones para una

potencial eutrofización incluyen que el nitrógeno sea limitante en relación con el fósforo, es decir, que la relación de flujo N:P sea inferior a 16, cuando el N supera a la sílice. Del mismo modo, la relación de flujo N:P debe ser limitante para el P, es decir, por encima de 16, cuando el P supera a los flujos de sílice.

Para este informe, los autores calcularon el ICEP de N y P para cada una de las 261 cuencas que drenan la RGC resueltas por el conjunto de datos Global NEWS V2 utilizando las siguientes relaciones (Billen y Garnier 2007, Garnier et al. 2010; Mayorga et al 2010):

$$N - ICEP = [NFlx/(14 \times 16) - SiFlx/(28 \times 20)] \times 106 \times 12 \quad (1)$$

$$P - ICEP = [PFlx/31 - SiFlx/(28 \times 20)] \times 106 \times 12 \quad (2)$$

where PFlx, NFlx, and SiFlx are the mean specific fluxes of total nitrogen, total phosphorus, and dissolved silica, respectively, delivered at the outlet of the river basin, expressed in  $\text{kg P km}^{-2} \text{d}^{-1}$ ,  $\text{kg N km}^{-2} \text{d}^{-1}$ , and  $\text{kg Si km}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

Al interpretar los resultados computacionales de estos índices, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Un valor negativo de ICEP indica que la sílice está presente en exceso sobre el N o el P, y caracterizaría así la ausencia de problemas de eutrofización.
- Los valores positivos indican un exceso de N o P sobre los requerimientos para el crecimiento de las diatomeas, por lo que es una condición para el desarrollo de algas no silíceas potencialmente dañinas, como es el caso de las floraciones de dinoflagelados dañinos.
- Los valores positivos de N-ICEP tienen una alta probabilidad de resultar en eutrofización cuando la relación de flujo N:P está por debajo del valor molar de Redfield de 16, es decir, el nitrógeno es limitante.
- Los valores positivos de P-ICEP tienen una alta probabilidad de causar eutrofización cuando la relación de flujo N:P está por encima del valor molar de Redfield de 16, es decir, el fósforo es limitante.
- Estas probabilidades de eutrofización también dependen de una interacción dinámica entre los nutrientes controladores, la biota y los factores abióticos. Aunque hay consenso en que el nitrógeno limita la producción primaria en las aguas costeras, los mecanismos de control pueden causar cambios estacionales entre el nitrógeno y el fósforo, incluyendo la co-limitación, con la mediación de otros factores como sus interacciones con los micronutrientes, el grado de oxigenación y los cambios en la acidez causados por la respiración microbiana (Howarth y Marino 2006, Guignard et al. 2017, Howarth et al. 2021, refs XXX)
- En términos de análisis de datos, estos índices de nutrientes son sensibles a la escala, por lo que todos los parámetros de flujo de nutrientes tienen que ser a escala de cuenca. Los flujos diarios de nutrientes agregados en múltiples cuencas pueden enmascarar fácilmente los estados potenciales de eutrofización específicos de la cuenca, debido a los valores de carga agregados de nitrógeno, fósforo y sílice, en todas las cuencas.

La figura 3.8A muestra la distribución de las cuencas en relación con su potencial de eutrofización costera: las cuencas situadas a la derecha de la línea vertical tienen nitrógeno en exceso de sílice; y las cuencas

trazadas por encima de la línea horizontal tienen fósforo en exceso de sílice. Alrededor de 105 (40%) de las 261 cuencas únicas de la RGC mostraron un potencial positivo de eutrofización: 63 cuencas por exceso de flujos de nitrógeno; y 85 por exceso de flujos de fósforo (Figura 3.8B). Cuarenta y tres (43) cuencas comunes a ambas categorías tienen flujos de nitrógeno y fósforo en exceso. La condición de que el nitrógeno sea limitante respecto al P cuando el nitrógeno supera a la sílice se cumple en 49 cuencas. En el caso de las cuencas +P-ICEP, sólo 3 cuencas muestran que el fósforo es limitante en relación con el nitrógeno. Por lo tanto, en el caso de las aguas costeras de la Región del Gran Caribe, se considera que el nitrógeno es el nutriente más limitante según los resultados de estos modelos. La mayoría de los sitios se agruparon relativamente cerca de un valor de potencial de eutrofización cero y se puede plantear la hipótesis de que estos sitios pueden ser reevaluados hacia una eutrofización positiva dadas las tendencias crecientes en la carga tanto de N como de P, de múltiples fuentes de nutrientes (Capítulo 2).

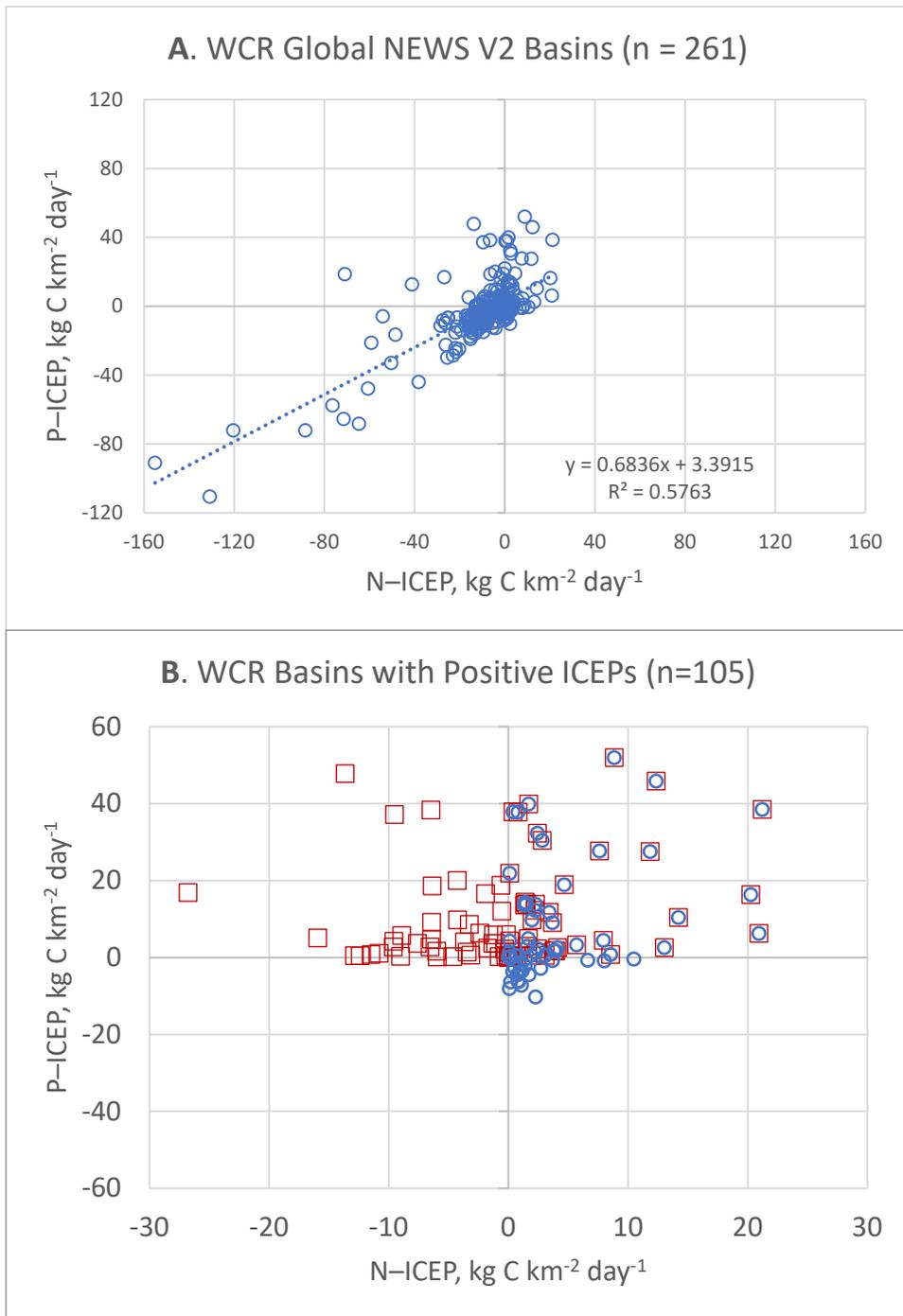
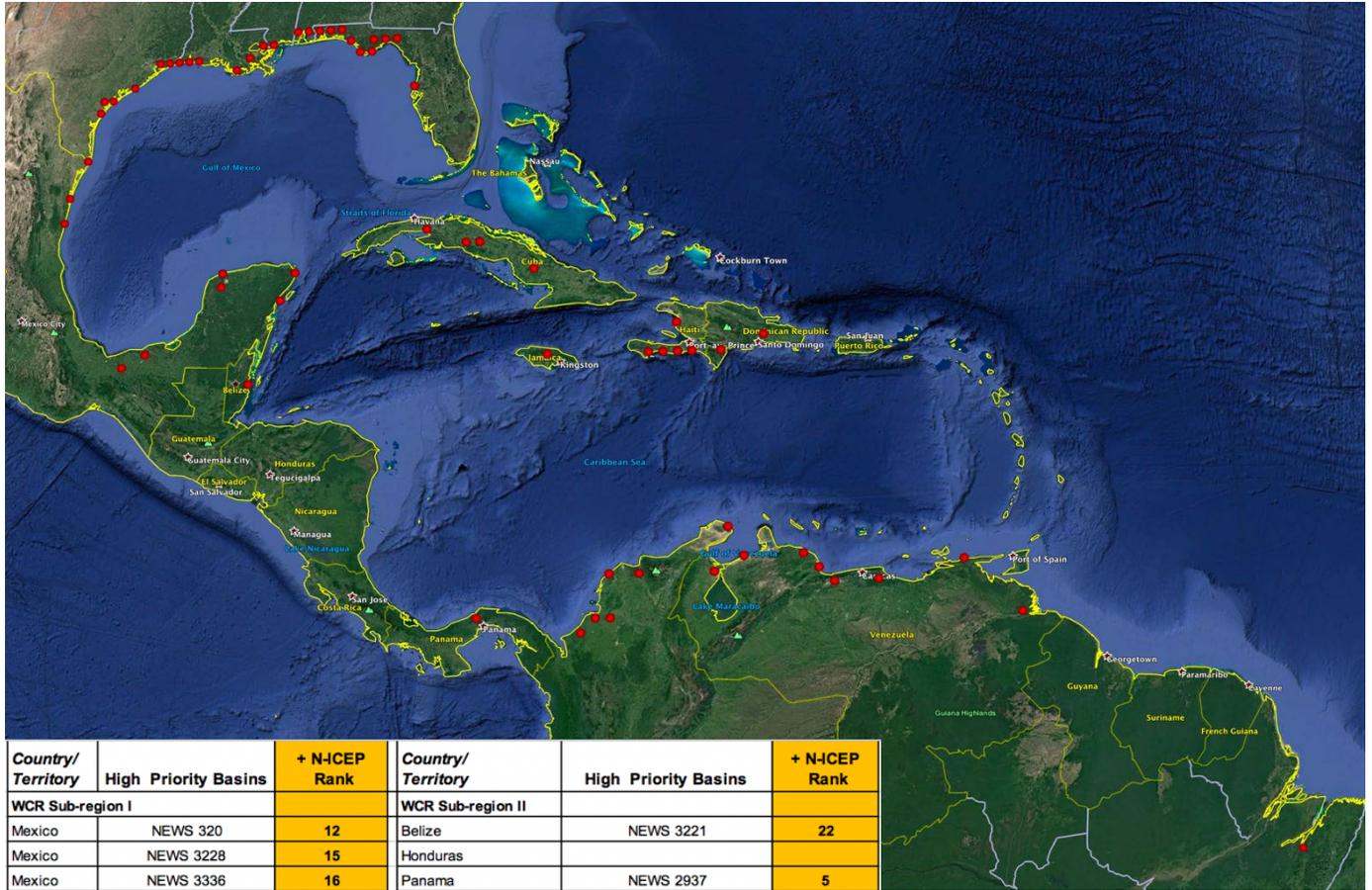


Figura 3.8 Índice de nutrientes del potencial de eutrofización costera para las cuencas de la RGC A. Las cuencas de la RGC resueltas por el conjunto de datos Global NEWS V2 (n=261) fueron evaluadas por su potencial de convertirse en eutróficas utilizando los flujos diarios de N y P. El recuadro incluye 105 cuencas con potenciales ICEP positivos. B. El recuadro se amplía para revelar 63 cuencas con +N-ICEP mostradas en círculos azules (a la derecha del eje vertical cero, y 85 cuencas con +P-ICEP mostradas en cuadrados rojos (sobre el eje horizontal cero); y 43 (símbolos combinados) fueron positivas para ambos índices (cuadrante superior derecho). El 40% de las cuencas resueltas mostraron un potencial eutrófico positivo debido a un exceso de flujos de nitrógeno o fósforo en el año 2000 del modelo.

La figura 3.9 indica la ubicación de las desembocaduras de los ríos de la cuenca con N-ICEP positivos. Cada una de estas cuencas fluviales tendría su cronología de uso del suelo, patrones demográficos y de urbanización, e historiales de carga de nutrientes que están más allá del alcance de este capítulo para ser discutidos. Entre las 25 cuencas fluviales de EE.UU. se encuentran las que descargan en el interior del Golfo de México, donde se ha documentado una zona hipóxica persistente desde que se inició un programa de cartografía de zonas muertas en 1985. Esta zona muerta sigue siendo sostenida por los legados de nitrógeno almacenados en los sedimentos, y que contribuyen hasta el 55% de las actuales cargas anuales de N (Turner et al. 2008, Van Meter et al. 2016), lo que hace que la reducción de la contaminación por nutrientes sea un verdadero desafío perverso. Nueve sitios en México, dos sitios en Centroamérica, 15 que rodean a los países continentales en la Subregión III de la RGC, y el río Capim/Yaqui en el norte de Brasil, conforman otros 25 con ICEPS +N. En cuanto a los estados insulares, las grandes islas de la subregión 4 de la RGC contribuyen con 13 cuencas fluviales con potencial para volverse eutróficas debido a flujos excesivos de N. Dado que el año del modelo es el 2000, y sin un programa de reducción de nutrientes en curso en toda la Región del Gran Caribe, es muy probable que estas estimaciones sean conservadoras y que un mayor número de cuencas muestren cargas excesivas de nutrientes contemporáneas si se dispone de un conjunto más actualizado de parámetros de entrada del modelo y se implementan modelos para simular condiciones más actuales de las cuencas y de las cargas.

El anexo 3.1 contiene una cartografía preliminar de las cuencas hidrográficas de los estados y territorios continentales e insulares de la Región del Gran Caribe. Una iniciativa futura se centrará en resolver los principales ríos que atraviesan las cuencas hidrográficas con la resolución espacial adecuada, especialmente en el caso de las cuencas hidrográficas que disponen de datos modelizados. En el anexo 3.2 se enumeran las 26 cuencas fluviales transfronterizas (a caballo entre dos o más países) de la Región del Gran Caribe.

Los datos de la literatura científica, aparte de los datos nacionales aportados a SOCAR, y los datos modelados de Beusen et al. (2015, 2016) y de Mayorga et al. (2010) se utilizan en las secciones siguientes para rastrear los impactos de los flujos de nutrientes y sustancias químicas asociadas en la Región del Gran Caribe. Estos impactos constituyen un siguiente nivel de conocimiento que amplía la base de información y la justificación convincente para aplicar esta estrategia y plan de acción sobre la contaminación por nutrientes.

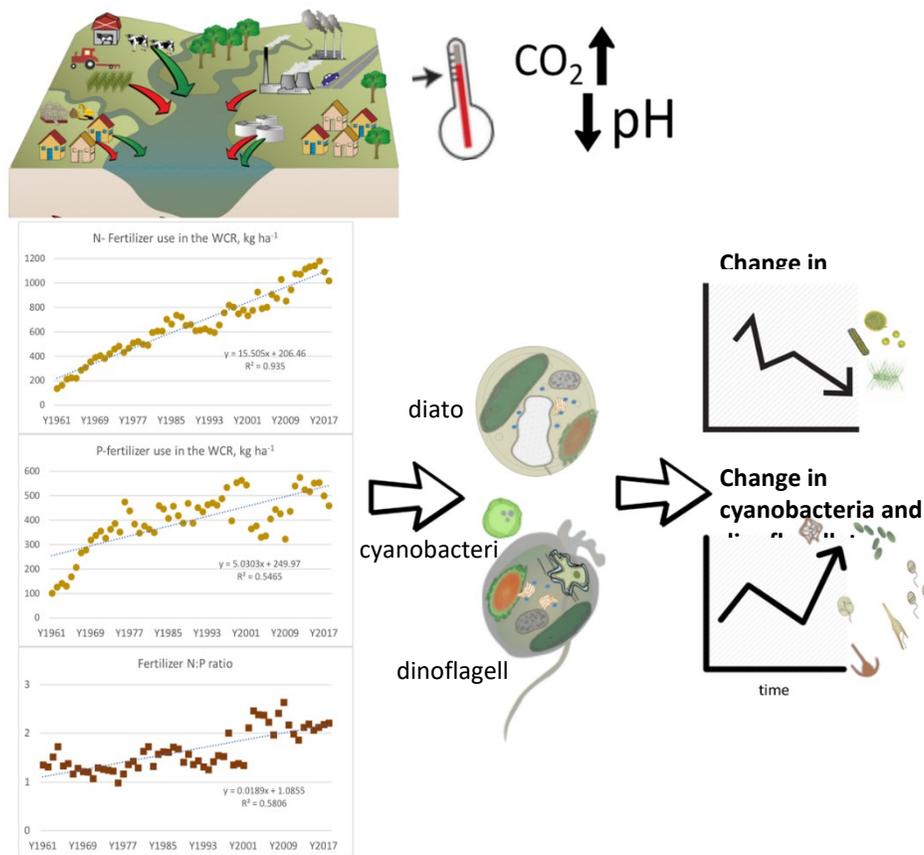


Country/ Territory	High Priority Basins	+ N-ICEP Rank	Country/ Territory	High Priority Basins	+ N-ICEP Rank
<b>WCR Sub-region I</b>			<b>WCR Sub-region II</b>		
Mexico	NEWS 320	12	Belize	NEWS 3221	22
Mexico	NEWS 3228	15	Honduras		
Mexico	NEWS 3336	16	Panama	NEWS 2937	5
Mexico	NEWS 1891	26			
Mexico	NEWS 1873	17	<b>WCR Sub-region III</b>		
Mexico	NEWS 3368	32	Colombia	NEWS 1211	1
Mexico	NEWS 3343	38	Colombia	NEWS 3018	2
Mexico	NEWS 3370	46	Colombia	NEWS 697	4
Mexico	<b>NEWS 35 - Rio Grande</b>	<b>63</b>	Colombia	NEWS 2894	8
USA	NEWS 3584	3	Colombia	NEWS 3080	39
USA	NEWS 1985	10	Colombia	NEWS 2929	40
USA	NEWS 295	11	Venezuela	<b>NEWS 25 - Orinoco</b>	<b>18</b>
USA	NEWS 1345	14	Venezuela	NEWS 262	30
USA	NEWS 467	21	Venezuela	NEWS 1680	35
USA	NEWS 1973	25	Venezuela	NEWS 3017	37
USA	<b>NEWS 4 - Mississippi</b>	<b>28</b>	Venezuela	NEWS 3016	42
USA	NEWS 3625	29	Venezuela	NEWS 3004	48
USA	NEWS 673	33	Venezuela	NEWS 1690	56
USA	NEWS 566	34	Venezuela	NEWS 3039	62
USA	NEWS 328	36	Brazil-LME17	<b>NEWS 37 - Capim/ Yaqui</b>	<b>23</b>
USA	NEWS 137	41			
USA	NEWS 1354	43	<b>WCR Sub-region V</b>		
USA	NEWS 3656	44	Cuba	NEWS 3434	19
USA	NEWS 616	45	Cuba	NEWS 3357	20
USA	NEWS 1357	47	Cuba	NEWS 3397	31
USA	NEWS 3632	49	Cuba	NEWS 3405	59
USA	NEWS 913	50	Dominican Republic	NEWS 3276	6
USA	NEWS 141	51	Dominican Republic	NEWS 3248	9
USA	NEWS 312	52	Haiti	NEWS 1816	13
USA	NEWS 915	53	Haiti	NEWS 3250	24
USA	NEWS 1344	55	Haiti	NEWS 3249	27
USA	NEWS 1356	57	Haiti	NEWS 1808	54
USA	NEWS 1068	60	Haiti	NEWS 3251	58
USA	NEWS 776	61	Jamaica	NEWS 3253	7

**Figura 3.9** Localización de las 63 cuencas de la RGC con +N-ICEP (señaladas con puntos rojos en el mapa anterior). La tabla de la izquierda identifica cada cuenca con el nombre del modelo "NEWS" seguido de un ID numérico, y su correspondiente rango N-ICEP. La reconciliación de las identificaciones numéricas de las cuencas con los nombres comunes de los ríos se hará en una iniciativa futura]. Debido a la resolución espacial de 0,5 X 0,5 del modelo NEWS, no se resolvieron las cuencas de las islas más pequeñas de la subregión IV de la RGC. La cuenca NEWS #1211 de Colombia es la que ocupa el primer lugar en cuanto a potencial de eutrofización inducida por el N; la cuenca del río Orinoco es la #18; la cuenca del río Mississippi, la #28; y la cuenca del río Grande es la última, la #63. El año del modelo es el 2000.

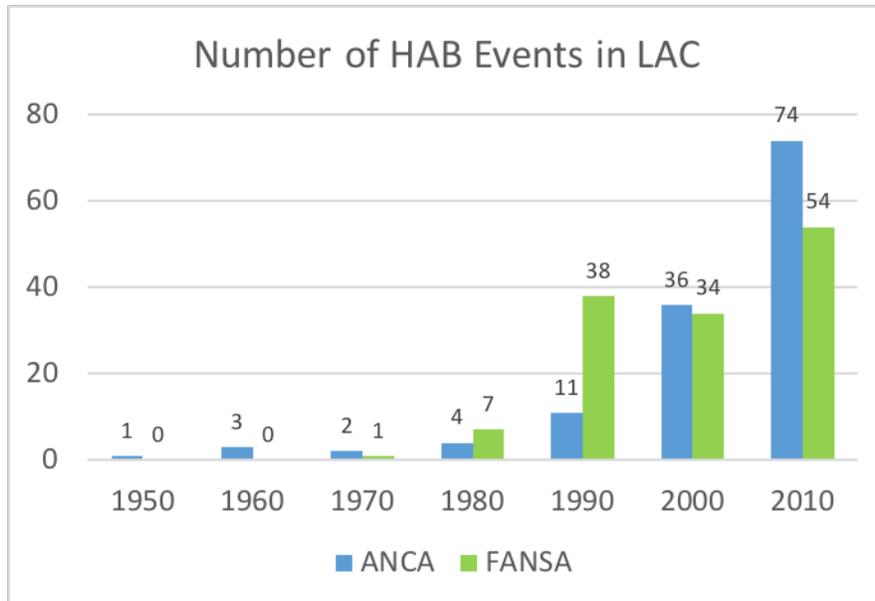
### **3.1.3 La contaminación por nutrientes favorece la formación de floraciones de algas nocivas (FAN)**

La carga de nutrientes, nitrógeno y fósforo, y otros micronutrientes, en proporciones que no son las de Redfield y en caudales que están en exceso en relación con la sílice pinta un conjunto simplificado de dinámicas para la aparición de floraciones de algas nocivas (FAN) no silíceas y a menudo. La creciente frecuencia de las FAN, ya sea como eventos recurrentes o nuevos, es una confluencia de la fisiología, el medio ambiente, incluyendo el calentamiento global, la acidificación y la desoxigenación, junto con las interacciones que los conjuntos de FAN tienen con las especies co-ocurrentes (Glibert y Burford 2017, Glibert 2020, Griffith y Gobler 2020; Paerl et al. 2020) (Figura 3.10). El hecho de que un océano que se calienta, se acidifica y se desoxigena a causa del cambio climático, favorece la proliferación de las FAN cuando los nutrientes antropogénicos están presentes en exceso, hace que estos eventos de floración sean un co-estrés climático en los ecosistemas acuáticos, y obliga a las sociedades a hacer de la reducción de la contaminación por nutrientes un imperativo contemporáneo (Griffith y Gobler 2017, Gobler 2020).



**Figura 3.10 Diagrama conceptual que muestra los factores que influyen en la formación de HABS como las floraciones de cianobacterias y dinoflagelados, incluyendo las cargas de fertilizantes que dominan los flujos de nutrientes terrestres, el calentamiento, la acidificación y la desoxigenación, todos los cuales influyen en la dinámica del fitoplancton en la RGC (modificado de Glibert (2020)).**

La compilación más actualizada del estado de las FAN en América Latina, el Caribe y Sudamérica reporta registros taxonómicos detallados de las especies formadoras de FAN desde 1956 hasta 2018 utilizando bases de datos globales y regionales (Sunesen et al. en prensa). La existencia de dos Grupos de Trabajo Regionales de la Comisión Oceanográfica Internacional (COI), Algas Nocivas de América Central y el Caribe (ANCA), y las Floraciones Algas Nocivas en Sudamérica (FANSA) son fundamentales en la documentación de eventos de FAN en la Región del Gran Caribe, utilizando la Base de Datos de Eventos de Algas Nocivas (HAEDAT) junto con otras bases de datos globales sobre biodiversidad. Cabe destacar que los registros de HAEDAT solo incluyen eventos que han causado impactos adversos a nivel social, económico, ambiental o sanitario, por lo que se deben buscar datos complementarios sobre eventos de FAN de menor impacto para armar un mosaico más completo de las FAN en la región. Los datos e información hasta 2019 incluyen la presencia de especies tóxicas, la distribución geográfica conocida de éstas, la detección de nuevas toxinas en la región, así como los eventos de FAN durante el periodo de estudio cubierto. Los puntos más destacados de este último informe y compilación se discuten brevemente aquí para examinar los patrones temporales, las especies causantes que forman las FAN, la naturaleza de las toxinas y el alcance de la toxicidad en el público consumidor impactado. Las regiones ANCA y FANSA se solapan con la RGC, por lo que a continuación se presentan los resultados de estas regiones con respecto a las FAN.



**Figura 3.11** Número de eventos de FAN en las regiones ANCA (Caribe y América Central) y FANSA (América del Sur) analizados por década. (Fuente: Méndez et al. 2018).

Los eventos de FAN en la Región del Gran Caribe muestran una tendencia creciente a lo largo del período documentado, con 4 eventos en la década de 1980, aumentando a 11 en la década de 1990; a 36 en la década de 2000 y a 74 de 2010 a 2018, en la región del ANCA (Méndez et al 2018, Sunesen et al., en prensa). Para América del Sur, los eventos aumentaron de 7 en la década de 1980 a 38 en la década de 1990; pasando a 34 en el año 2000 y aumentando a 54 en la última década de estudio.

Alrededor del 80% de las FAN en ALC (tanto en las regiones ANCA como FANSA) son causadas por dinoflagelados (Figura 3.12A), con contribuciones relativamente menores de otros grupos. Las cianobacterias no se incluyeron en la evaluación debido a que los registros son inadecuados, pero se incluyeron en el inventario de especies para la región de FANSA, pero no en el Caribe. Los géneros portadores de toxinas se muestran en la Figura 3.12 B1 para la región FANSA y B2 para la región ANCA. Los géneros tóxicos incluyen los dinoflagelados *Alexandrium*, *Gymnodium*, *Pyrodinium*, *Dinophysis* y *Gambierdiscus*, y una especie de diatomea *Pseudonitzschia*.

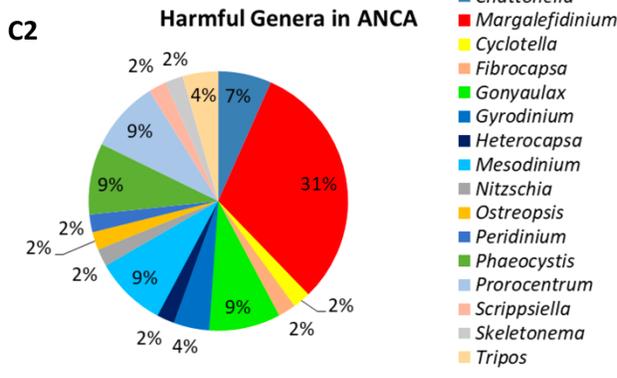
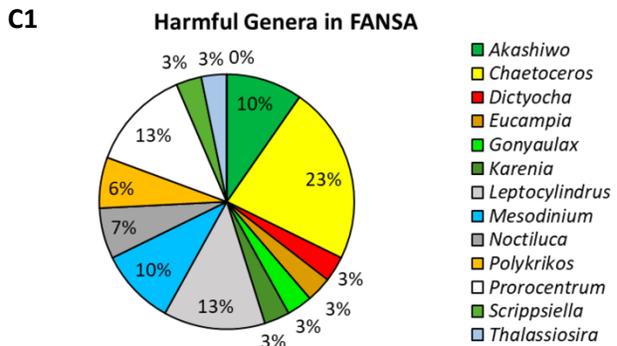
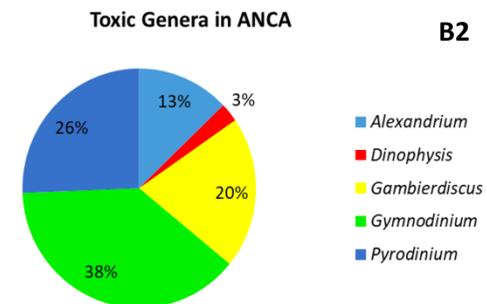
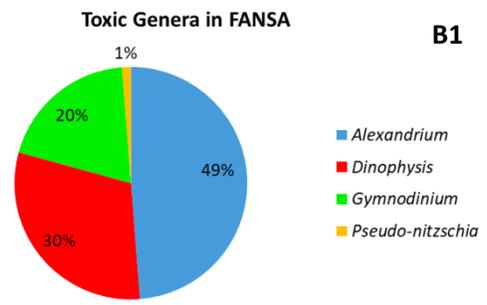
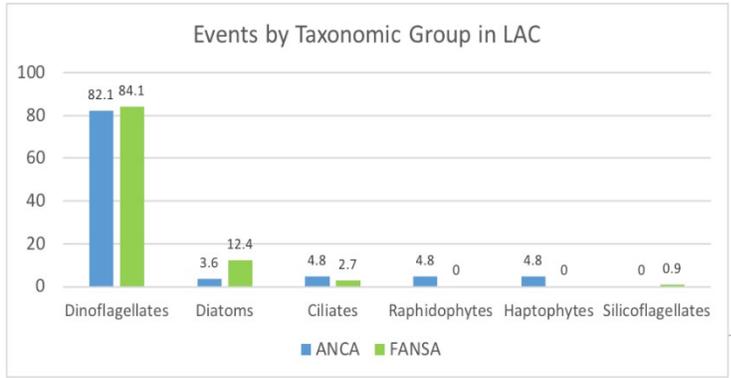
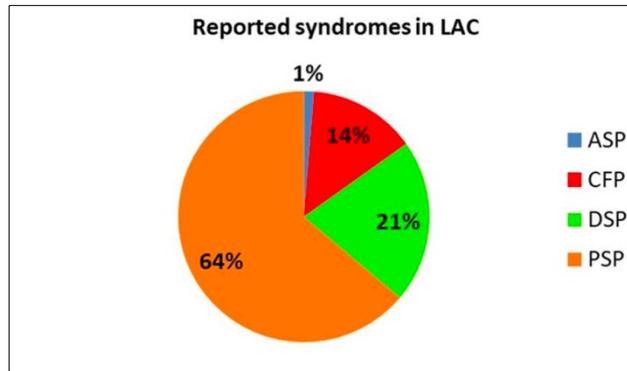


Figura 3.12 A. Organismos causantes de las FAN. Géneros tóxicos en las regiones FANSA (B1) y ANCA (B2); Géneros nocivos en las regiones FANSA (C1) y ANCA (C2); Distribución geográfica de los organismos causantes en América Latina y el Caribe. (Fuente: Mendez et al. 2018)



**Figura 3.13** Síndromes clínicos de toxinas notificados en ALC. Intoxicación amnésica por mariscos (ASP), Intoxicación parálitica por mariscos (PSP), Intoxicación diarreica por mariscos (DSP) y Intoxicación ciguatera por peces (Fuente: Méndez et al. 2018).

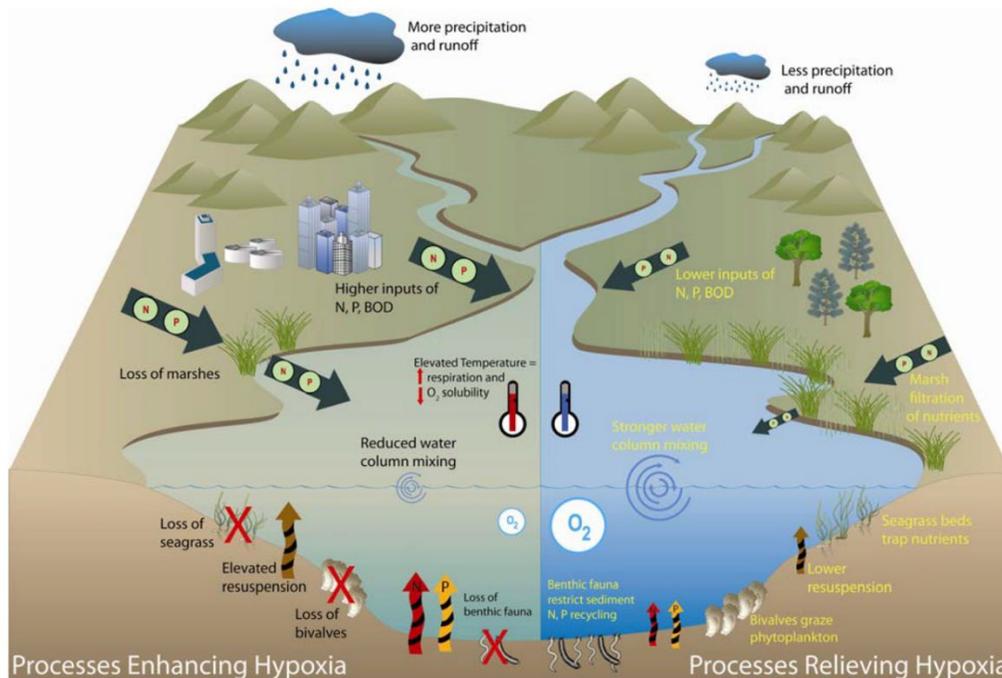
En la región de ALC, el 75% de los 265 registros de FAN fueron eventos tóxicos que se produjeron a lo largo de las 7 décadas que abarca el estudio. Estos se desglosan por síndromes de toxinas que afectan a los seres humanos: Intoxicación amnésica por mariscos (ASP), Intoxicación parálitica por mariscos (PSP), Intoxicación diarreica por mariscos (DSP) y Intoxicación ciguatera por peces (CFP). La ciguatera está restringida al Caribe, mientras que la ASP está en Sudamérica y tanto la PSP como la DSP están distribuidas por toda ALC. La PSP es, con mucho, el síndrome de toxina dominante en América Latina, con un 64%. La PSP es el resultado del envenenamiento por las saxitoxinas que se encuentran en varias especies pertenecientes al género *Alexandrium*, y en especies como *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* y *Trichodesmium erythraeum*.

El 22% de las FAN tóxicas afectaron a seres humanos, pero el seguimiento de HAEDAT no documentó el número de personas afectadas. En el futuro, el seguimiento de las FAN debería asociarse con los organismos sanitarios, de modo que los síndromes de toxinas se asimilen a las bases de datos de salud pública, que podrán utilizarse en evaluaciones más precisas de los costes sociales y de salud pública de las FAN. No existen pruebas diagnósticas de rutina para ninguno de los síndromes clínicos, ni existe un antídoto para ninguna de las toxinas (Grattan et al. 2016). Por lo tanto, las únicas medidas eficaces son las preventivas, entre las que se incluyen: la vigilancia ambiental con detección de toxinas, la identificación de personas y comunidades de riesgo, la mejora de los programas de divulgación de las FAN y la mejora de la notificación y documentación de las FAN y las enfermedades.

Las algas nocivas, a diferencia de las tóxicas, pueden provocar la mortalidad de peces e invertebrados por desoxigenación o por efectos físicos como lesiones u obstrucción de las branquias o la secreción de compuestos hemolíticos, o si se descubre que las especies contienen toxinas detectadas mediante bioensayos (Lassus et al. 2016). *Chaetoceros*, una diatomea, domina los géneros perjudiciales en FANSA, mientras que *Margalefidinium* es el más común en la región de ANCA (Figura 3.12 C1 y C2). Esta última especie ha sido asociada con mortalidades masivas de organismos marinos a través de su producción de especies reactivas de oxígeno, sustancias hemolíticas y similares a las neurotoxinas (López-Cortés et al. 2019), con un coste de hasta 140 M\$ de impactos económicos en la acuicultura en Asia y Norteamérica. En América Latina no se ha realizado una evaluación económica. La distribución geográfica de los géneros causantes se muestra en la Figura 3.12D. La información y la documentación de los impactos ecológicos de las FAN son necesarias para desarrollar modelos de predicción y escenarios de riesgo, de manera que se puedan desarrollar medidas operativas para mitigar los daños. La reducción de las causas

de la contaminación por nutrientes es fundamental para los programas que esperan abordar las FAN, incluidos sus impactos sobre la salud pública y los medios de subsistencia.

### 3.1.4 La contaminación por nutrientes provoca la formación de zonas hipóxicas en aguas estratificadas



**Figura 3.14** Diagrama conceptual de los factores que controlan la hipoxia. El lado izquierdo indica los procesos que aumentan las condiciones de hipoxia, incluyendo el aumento de las precipitaciones, los altos aportes de nutrientes, la reducción de la mezcla del agua, la temperatura elevada que aumenta la respiración y la reducción de la solubilidad del oxígeno. El lado derecho muestra los procesos que alivian la hipoxia, incluyendo una menor precipitación, la reducción de los aportes de nutrientes y la filtración de nutrientes por la vegetación. (Fuente: Kemp et al. 2009).

En las aguas costeras donde se producen floraciones de microalgas en respuesta a un exceso de carga de nutrientes, la depredación por parte de los herbívoros que consumen fitoplancton no es suficiente para hacer frente al exceso de producción de microalgas. Como resultado, la biomasa no consumida cae al fondo del océano y es descompuesta por los microbios a través de la respiración aeróbica, que consume el oxígeno disuelto en el proceso. Este proceso también libera dióxido de carbono que acidifica las aguas en profundidad (Cai et al. 2011). Así, la eutrofización puede conducir a la formación de zonas hipóxicas si se dan condiciones biogeoquímicas y físicas favorables. Los dos principales impulsores de la hipoxia son la estratificación y las cargas de nutrientes (sobre todo las anteriores cargas de nitrato y nitrito de mayo) (Turner et al. 2012, Obenour et al. 2012). Una zona hipóxica se define operacionalmente como el área en la que las concentraciones de oxígeno disuelto en el fondo del mar (BWDO) son inferiores a 2 mg DO L<sup>-1</sup>. No todos los sistemas costeros eutróficos desarrollan hipoxia, como en las zonas donde la estratificación es débil o donde los tiempos de retención del agua son más cortos, a pesar de que las cargas de nutrientes son igualmente excesivas (Breitburg et al. 2010). En aguas oceánicas abiertas, el calentamiento del océano disminuye la solubilidad del oxígeno, y es responsable de más del 50% de la pérdida de oxígeno en los 1000 m superiores del océano (Breitburg et al. 2018, Oschlies et al. 2018). Para los sistemas costeros que

experimentan cargas de nutrientes enriquecidas, se prevé que el calentamiento del océano intensifique la desoxigenación a través de mecanismos similares a los del océano abierto: aumento de la intensidad y la duración de la estratificación, disminución de la solubilidad del oxígeno y aumento de la respiración (Altieri y Gedan, 2015) (Figura 3.14).

Díaz et al. (2011) recopilaron 777 zonas hipóxicas documentadas científicamente en todo el mundo. De ellas, 164 sitios del inventario estaban ubicados en la Región del Gran Caribe, y solo 15 estaban ubicados fuera de los Estados Unidos (Tabla 3.1, Figura 3.15). En comparación, este informe evaluó 37 desembocaduras de ríos con cargas que son positivas para el N-ICEP fuera de los EE.UU., lo que indica la posibilidad de que haya más sitios en la Región del Gran Caribe que tienen un alto potencial de eutrofización, pero que no han sido documentados científicamente, por lo que han sido excluidos de los inventarios de sitios hipóxicos. Los países que no tienen programas de investigación en curso sobre la hipoxia o investigaciones afines no se incluirían en dichos inventarios aunque existan lugares hipóxicos en sus aguas costeras. El establecimiento de la Red Mundial de Oxígeno Oceánico (GO2NE) bajo la égida de la Comisión Oceanográfica Internacional, y que se ha comprometido a proporcionar una comprensión global y multidisciplinaria de la desoxigenación, incluyendo la promoción del desarrollo de capacidades (<https://en.unesco.org/go2ne>), contribuiría en gran medida a que los países en desarrollo pudieran abordar la hipoxia costera con la mejor orientación que puede ofrecer la comunidad mundial a los científicos nacionales.

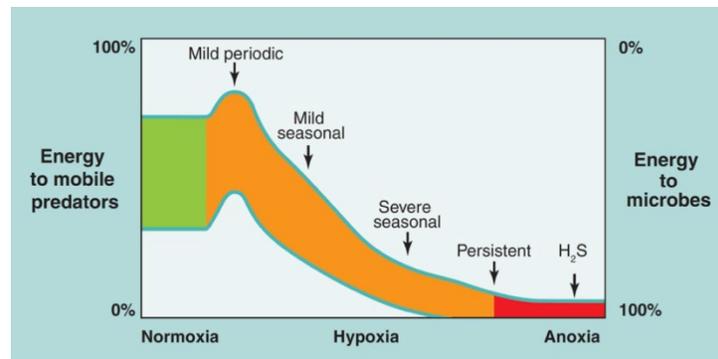
**Tabla 3.1 Zonas hipóxicas reportadas en la Región del Gran Caribe (Fuente de datos: Díaz et al. 2011, <https://www.wri.org/resources/data-sets/eutrophication-hypoxia-map-data-set>).**

Subregión RGC	País	Sitios hipóxicos reportados
I	México	3
I	EEUU-Florida	91
I	EEUU -Texas	29
I	EEUU -Louisiana	15
I	EEUU -Mississippi	11
II	Belice	2
III	Colombia	3
III	Venezuela	3
IV	Antigua y Barbuda	1
IV	Barbados	1
IV	Islas Vírgenes de los Estados Unidos	1
V	Cuba	1
V	Jamaica	1
V	Puerto Rico	2
	Total	164



Figura 3.15 Sitios hipóxicos y eutróficos científicamente documentados en la Región del Gran Caribe (n=164) compilados por Díaz et al. (2011) en círculos abiertos de color naranja. Los puntos rojos sólidos indican las desembocaduras de los ríos con cargas de nutrientes evaluadas en este informe como positivas para el N-ICEP en base a los resultados del modelo para el año 2000 con una resolución espacial gruesa de 0,5 (Mayorga et al. 2010) (véase la sección 3.1.2). El modelo NEWS resolvió las cuencas hidrográficas de los países continentales y las islas grandes de la subregión V de la RGC, pero no las islas pequeñas de la subregión IV. Este informe encontró 37 sitios positivos al N-ICEP fuera de los EE.UU.; el inventario de Díaz et al. tenía 15 sitios eutróficos e hipóxicos fuera de los EE.UU.; por lo tanto, la posibilidad de que existan más sitios hipóxicos pero aún no documentados sigue siendo alta. (Sólo mapa borrador).

Cuando los lugares eutróficos se convierten en zonas de oxígeno mínimo, el riesgo para la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas y las consecuencias sociales y económicas también aumentan en gravedad. Díaz y Rosenberg (2008) señalan que la hipoxia sigue los pasos de la eutrofización con el aumento de la deposición de materia orgánica, que proporciona una mayor cantidad de sustrato para el crecimiento y la respiración microbiana, que consume oxígeno (Figura 3.16). Si las aguas se estratifican debido a los patrones de circulación local que crean un diferencial de temperatura entre las aguas superficiales y las del fondo, y las cargas de nitrato y nitrito de primavera son excesivas, los niveles de oxígeno disuelto pueden agotarse. Con una carga sostenida de nutrientes a través de la escorrentía superficial o de los flujos de nutrientes de las aguas subterráneas, o de ambos, la hipoxia puede producirse de forma estacional o durante períodos prolongados, con un grave impacto en la biota. Los niveles muy reducidos de oxígeno durante la hipoxia favorecen los bentos r-seleccionado, es decir, con una vida más corta y tamaños más pequeños que caracterizan a las especies oportunistas. Con una mayor acumulación de materia orgánica y nutrientes en los sedimentos, el sistema progresa hacia una condición anóxica que favorece la liberación de H<sub>2</sub>S. La recanalización de la energía de los depredadores móviles cuando un sistema tiene niveles normales de oxígeno (normoxia) a los microbios durante el estado hipóxico o anóxico severo significa la pérdida de biodiversidad estructural y funcional cuando los microbios son favorecidos sobre el macrobentos. También significa reducir la capacidad de los ecosistemas costeros para prestar los servicios que conforman la economía azul de una zona por la alteración de la geoquímica de los sedimentos y del agua del fondo (Figura 3.16).

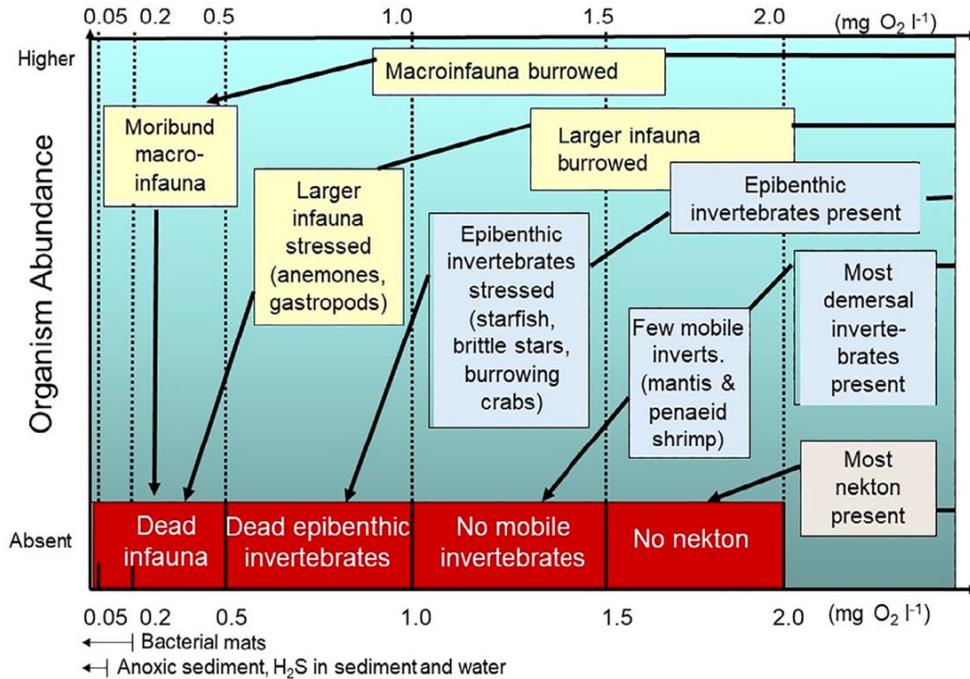


**Figura 3.16** Cómo la hipoxia altera el flujo energético del ecosistema. El aumento inicial de la biomasa de fitoplancton (verde) proporciona un plus de energía grande, pero de corta duración para los depredadores móviles. A medida que disminuye el oxígeno, aumenta la proporción de materia orgánica bentónica transferida a los microbios (naranja). Los microbios procesan la materia orgánica con la liberación de H<sub>2</sub>S en condiciones anóxicas. (Fuente: Díaz y Rosenberg, 2008).

La zona muerta del Golfo de México (GOM) ejemplifica los cambios del sistema de una cuenca costera que está sujeta a flujos sostenidos de nutrientes y aguas estratificantes como se ha descrito anteriormente. La hipoxia estacional comenzó en la década de 1950 y su gravedad se aceleró en la década de 1970, produciéndose de forma constante con carácter anual, tal y como se desprende de un programa de cartografía iniciado en 1985 (Rabalais y Turner, 2019). El área de la zona hipóxica delimitada por el límite de 2 mg DO L-1 ha variado, dependiendo de la descarga de agua dulce, y de la carga de nitrato-N en el mes de mayo anterior, y además está influenciada por los procesos de mezcla inducidos por perturbaciones de huracanes o tormentas tropicales o vientos sostenidos que cambian la configuración de la masa de agua. La BWDO puede extenderse hasta 23.000 km<sup>2</sup>, sólo superada por el Mar Báltico, y hasta 140 km<sup>3</sup> de volumen (es decir, aproximadamente 6 m por encima del lecho marino en promedio; 10 m por debajo en la plataforma de Luisiana oriental; 2-5 m por encima del fondo en la plataforma de Luisiana occidental). Es muy importante señalar que la hipoxia no ha sido una característica perpetua del

golfo, aunque la estratificación lo sea. La persistencia de menos de 1 mg L<sup>-1</sup> de OD puede durar de 0,5 a 2 meses de mayo a septiembre, y continúa mientras la estratificación se mantenga por la ausencia de mezcla. Por lo tanto, la carga de nitrato-nitrógeno sigue siendo el principal impulsor de la hipoxia, incluyendo una creciente reserva de nitrógeno heredado; y la estratificación, el impulsor amplificador, en el Golfo.

### 3.1.5 Contaminación por nutrientes, hipoxia y pesca



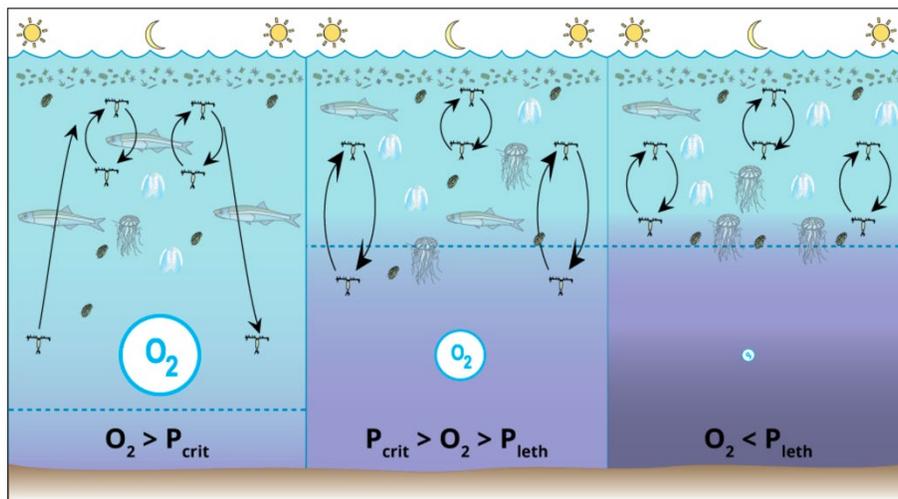
**Figura 3.17 Cambios en peces e invertebrados a medida que el oxígeno disuelto en el fondo del mar (BWDO) disminuye de 2 mg L<sup>-1</sup> (hipoxia) a 0 mg L<sup>-1</sup> (anoxia) (Rabalais y Turner, 2019).**

El nekton, incluidos los peces y los camarones, se ve desplazado por las bajas concentraciones de OD y se aleja de las aguas hipóxicas. La infauna, la que vive en los sedimentos, como los poliquetos y los equinodermos, experimenta la muerte durante períodos prolongados de niveles subóptimos de OD (Figura 3.17, Rabalais y Turner, 2019). Estos son reemplazados por especies más pequeñas y de rápida reproducción que pueden tolerar bajos niveles de OD. Como tal, las zonas hipóxicas tienen niveles deprimidos de producción secundaria incluso después de la hipoxia.

¿Cómo afecta la producción secundaria deprimida en las zonas hipóxicas a todo el sistema pesquero? Al examinar los datos sobre las pesquerías y el estado de contaminación por nutrientes de 30 estuarios y mares marginales, Breitburg et al. (2009) descubrieron que la hipoxia no se traduce en una reducción de los desembarcos de pescado, excepto en los sistemas en los que se vierten aguas residuales sin tratar y que afectan directamente a los hábitats críticos. Los mecanismos de compensación limitan la escala local y los efectos adversos de la hipoxia que se expresan a escala del sistema. Un análisis anterior de Micheli (1999) muestra resultados similares en el sentido de que, si bien los nutrientes aumentan en general la biomasa del fitoplancton y los carnívoros disminuyen la biomasa de los herbívoros, sigue habiendo una débil interacción entre el fitoplancton y los herbívoros y las expresiones de las interacciones directas disminuyen a través de las redes alimentarias pelágicas. Un modelo de ecosistema espacialmente explícito

para examinar los efectos de la hipoxia sobre los peces y las pesquerías en el norte del Golfo de México mostró que los aumentos de la producción primaria superan las disminuciones debidas a la hipoxia, pero que estas son específicas de cada especie (de Mutsert et al. 2016). La expresión de la hipoxia en los desembarcos de peces y en las interacciones de la red alimentaria pelágica podría ser insensible a los impactos directos de la hipoxia.

Roman et al. (2019) proponen el uso de una métrica como el nivel de estrés de oxígeno (OSL) que integra la demanda de oxígeno en relación con la disponibilidad de oxígeno, junto con las presiones parciales críticas y letales de O<sub>2</sub> específicas de cada especie para describir y comparar los hábitats hipóxicos. Estas métricas, que son sensibles al tamaño o a la edad, captan la interacción del oxígeno y la temperatura como impulsores combinados de la calidad del hábitat o de su nivel de estrés y podrían ser más relevantes para evaluar los impactos de la hipoxia en la producción secundaria, incluida la de las pesquerías, en condiciones de calentamiento climático (Figura 3.18).



**Figura 3.18** Diagrama conceptual de las interacciones de la red trófica en un ciclo diurno que incluye la migración vertical del zooplancton durante la normoxia (a la izquierda, cuando el oxígeno es abundante (color azul claro) y está por encima del umbral crítico de oxígeno, es decir, cuando la respiración se ve limitada por el suministro de oxígeno), la hipoxia (en el centro, cuando el oxígeno está por encima del umbral letal de oxígeno pero por debajo del umbral crítico de oxígeno) y la anoxia (a la derecha, cuando el oxígeno está por debajo del umbral letal de oxígeno (color morado)). Estos umbrales de oxígeno son específicos de cada especie y de cada edad. Con la disminución de la concentración de oxígeno, se reduce el hábitat pelágico, se trunca la migración vertical (indicada por la longitud de las flechas hacia abajo y hacia arriba, un aumento de la abundancia de zooplancton gelatinoso y una disminución de la abundancia de peces forrajeros).

Los intentos anteriores de discernir las repercusiones de la hipoxia en las pesquerías han arrojado pocos resultados en forma de interacciones significativas debido a los efectos de confusión del comportamiento pesquero en la optimización de las capturas en las zonas donde se produce la hipoxia. Huang et al (2010) desarrollaron un modelo bioeconómico que tenía en cuenta el efecto retardado de la hipoxia en el camarón marrón *Farfantepenaeus aztecus*, lo que permitió a los autores integrar la fecha de monitorización del oxígeno con los datos pesqueros en el tiempo y el espacio. Encontraron que la hipoxia podría haber causado una disminución anual del 13% en la pesquería de camarón marrón durante el período de 1999 a 2005. Smith et al. (2016) utilizaron los precios de mercado del camarón marrón desagregado por tamaño para cuantificar el impacto de la hipoxia en la pesquería. La hipoxia provocó el aumento del precio relativo de las gambas grandes en comparación con el de las gambas pequeñas, ya

que la población de gambas cambió de distribución de tamaño. El precio no tuvo en cuenta los efectos de confusión de los movimientos del camarón y de la flota pesquera. Al estar desagregado por tallas, que a su vez estaban limitadas por el oxígeno, se detectó una disminución de la pesca.

### **3.1.6 Contaminación por nutrientes, arrecifes de coral y comunidades de pastos marinos**

Esta sección ofrece una breve actualización sobre el estado de los arrecifes de coral y las comunidades de pastos marinos de la Región del Gran Caribe con respecto a la contaminación por nutrientes, basándose en referencias recientes para el período comprendido entre 2009 y la actualidad. Los arrecifes de coral son la base del turismo marino en el Gran Caribe, con todo el turismo asociado a los arrecifes (turismo en el arrecife y adyacente al arrecife) en el Caribe insular valorado en 8 mil millones de dólares de gasto y más de 11 millones de visitantes al año (Spalding et al. 2018). La salud de los arrecifes de coral es prácticamente el alma de los pequeños estados y territorios insulares, y está en riesgo por la escorrentía terrestre y los residuos domésticos.

El estado de los arrecifes de coral se examinó por última vez a escala regional en 2004 a través de un informe de evaluación denominado Arrecifes en riesgo en el Caribe, y en el que se destacaba que alrededor de un tercio de los arrecifes corrían un riesgo medio o alto debido a los sedimentos y la contaminación de las tierras agrícolas y otros usos del suelo (Burke y Maidens 2004) (Figura 3.19). Diez años más tarde, en 2014, se publicó un informe cuantitativo sobre el estado y las tendencias basado en 35.000 estudios cuantitativos sobre los arrecifes, que abarcaba el período comprendido entre 1970 y 2012, y que documentaba por primera vez los atributos biológicos fundamentales y cuantitativos de los arrecifes, como la cobertura de coral, la cobertura/biomasa de macroalgas, el erizo de mar y la densidad de peces de arrecife. El promedio de la cobertura de coral para 88 lugares con datos fue del 35% (1970 a 1983) al 19% (1984 a 1998) al 16% (1999 a 2011), observando que la disminución fue significativa en el 75% de los sitios con datos. Junto con esta disminución de la cobertura de coral se produjo el aumento de la cobertura de macroalgas del 7% al 24% durante el período de 1984 a 1998 y que se mantuvo estable, pero con una variabilidad aún mayor que las tendencias de la cobertura de coral. Estas tendencias opuestas constituyeron lo que se denominó un cambio de fase de comunidades coralinas dominadas por corales a comunidades dominadas por macroalgas y que ha persistido durante 25 años (desde 1984). Los motores de este cambio masivo considerados en el informe fueron: el aumento de la población, la sobrepesca, el calentamiento del océano (se disponía de datos para los tres); y la contaminación costera y las especies invasoras (para las que se carecía de datos). A excepción de las lecturas del disco Secchi, no se incluyó en el estudio ningún parámetro de calidad del agua ni ninguna medida sustitutiva por falta de datos de seguimiento coherentes (Jackson et al. 2014). El control del aumento de la cubierta de macroalgas, ya sea por la sobrepesca de peces herbívoros y/o por el enriquecimiento de nutrientes, no pudo establecerse entonces a escala regional. El informe pedía un seguimiento más sistemático y amplio de la calidad del agua en todo el Gran Caribe.

Varios estudios importantes han seguido examinando el papel de los múltiples factores que influyen en la dinámica de los arrecifes de coral en la región. En la Tabla 3.2 se muestran ejemplos de trabajos publicados que cuantifican los flujos de nutrientes procedentes de la tierra y documentan sus efectos en las comunidades coralinas de la región. En la Tabla 3.3 se presentan varios trabajos de revisión que han explorado los factores que controlan la dominancia de las macroalgas en los arrecifes del Caribe, así como otras evaluaciones de estado actualizadas. En las condiciones actuales, los factores de estrés locales como la contaminación por nutrientes y la sobrepesca (Littler et al. 2006; Furman y Heck, 2008; Lapointe et al. 2010; Slijkerman et al. 2014; Duran et al. 2018; Lapointe et al. 2019; González-Sayas et al. 2020); la

sedimentación (Roder et al. 2009), los patógenos de las aguas residuales (Wear y Thurber, 2015), la descarga de aguas subterráneas submarinas (Prouty et al. 2017; Gordon-Smith y Greenway, 2019); y los factores de estrés globales como el calentamiento de la temperatura, y el transporte de polvo enriquecido con nutrientes (Pawlik et al. 2016), todos ellos deben ser examinados para pintar una imagen completa de cómo los corales sobrevivirán al siglo XXI. Entre estos factores de estrés que interactúan, la mitigación de la contaminación por nutrientes se aborda en el capítulo 5. Sería necesario diseñar un plan más amplio sobre cómo salvar los arrecifes de coral y los ecosistemas costeros, que son fundamentales para la economía azul de la región, junto con sus homólogos terrestres.

**Tabla 3.2 Impactos de la contaminación por nutrientes en los lugares de estudio en los arrecifes de coral y las praderas marinas en la Región del Gran Caribe, según la revisión bibliográfica de 2009.**

Ubicación de los arrecifes	Resultados	Referencias y notas
Cayo Carrie Bow, complejo de arrecifes de Belice	Se probó el modelo de dominancia relativa para explicar el pastoreo y los nutrientes como controles de la dominancia de las macroalgas. Resultados: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La reducción de nutrientes en combinación con una alta herbivoría elimina todas las formas de micro y macroalgas dañinas.</li> <li>2. Los sistemas eutróficos pueden perder su resistencia a la inundación por macroalgas, ya que los herbívoros se ven anegados por las floraciones de algas nocivas inducidas por los nutrientes. El crecimiento de los corales constructores de arrecifes puede verse inhibido cuando los nutrientes son elevados, aunque la herbivoría siga siendo alta.</li> </ol>	Littler et al. 2006. Estudio realizado durante 24 meses. Se determinaron todas las formas de DIN (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), fósforo reactivo soluble (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )
Arrecifes de coral, parte baja de los Cayos de Florida, EE.UU.	Se probaron los efectos individuales e interactivos del pastoreo de <i>Diadema antillarum</i> y el enriquecimiento de nutrientes en la dinámica de la comunidad de macroalgas y se concluyó que el enriquecimiento de nutrientes es una explicación poco probable del crecimiento excesivo de algas en los arrecifes de coral de los Cayos de Florida	Furman y Heck, 2008. Experimento de campo realizado durante 78 días; C:N:P elemental realizado
Arrecifes de coral, Parque Nacional de Cahuita, Costa Rica	Degradado debido a la sedimentación crónica con eutrofización, pasando a ser un arrecife dominado por las algas	Roder et al. 2009. Parámetros de muestreo de agua medidos.
Arrecifes de coral, Reserva de la Biosfera SeaFlower, Caribe Colombia	Muy afectados por los nutrientes y los coliformes fecales y totales, con el vertido de aguas residuales como principal contaminante	Gavio et al 2010; Parámetros de calidad del agua medidos
Complejo de arrecifes de Buccoo y arrecifes de coral periféricos de Tobago, Trinidad y Tobago	Buccoo Point fuertemente impactado por los vertidos de aguas residuales de Tobago con alta biomasa de macroalgas	Lapointe et al. 2010; Parámetros de calidad del agua medidos
Los sistemas de arrecifes de coral de Cuba frente a La Habana	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cobertura de coral uniformemente baja al 10%, y aumento de la cobertura de macroalgas a pprox... 65%</li> <li>2. El contenido de nitrógeno en el tejido de las algas (nitrógeno DW% y N15) aumentó con la proximidad a La Habana, lo que sugiere una</li> </ol>	Duran et al. 2018. Se obtuvieron medidas de N15 y %DW de nitrógeno en <i>Sargassum histrix</i> para todos los sitios de estudio.

	<p>mayor contribución de las fuentes antropogénicas de N a los arrecifes</p> <p>3. El declive de los arrecifes de coral se atribuye a factores de estrés locales, como la contaminación costera y la sobrepesca de peces herbívoros, y a factores de estrés globales, como los huracanes.</p>	
Arrecifes de coral, Cayo Looe, Cayos de Florida, EEUU	Degradado por la carga de N en tierra procedente de los vertidos de los Everglades	Lapointe et al 2019 basado en datos de monitoreo de 30 años; Parámetros de calidad del agua medidos
Arrecifes de coral de Cuba y México	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La mayoría de los organismos centinela que habitan en las zonas costeras más desarrolladas, en términos de población y turismo, mostraron contenidos de N más altos, relaciones C; N más bajas y valores de N15 más altos que los que se encuentran cerca de las zonas costeras menos desarrolladas.</li> <li>2. Los nutrientes terrestres procedentes de las aguas residuales municipales constituyen la principal fuente de contaminación por N</li> <li>3. Es urgente acelerar el progreso de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en términos de capacidad y eficiencia, para reducir significativamente los aportes de nutrientes a los ecosistemas costeros</li> </ol>	Gonzalez-De Zayas et al. 2020.

**Tabla 3.3 Evaluaciones posteriores a 2014 del estado de los arrecifes de coral y las praderas marinas, incluyendo revisiones de los factores que controlan la dominancia de las macroalgas y la resiliencia de los arrecifes de coral en la Región del Gran Caribe.**

Área de estudio	Hallazgos	Referencia y notas
Praderas marinas, todo el Caribe (CARICOMP)	El 43% de las 35 zonas de larga duración (1993-2007) mostraban signos de deterioro ambiental por el aumento de la escorrentía terrestre (aguas residuales, fertilizantes y/o sedimentos) (observaciones cualitativas)	Van Tussenbroek et al. 2014; el seguimiento no incluyó parámetros de calidad del agua debido a la limitación de recursos
Baja resiliencia de los arrecifes de coral del Caribe	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La pérdida de coral dio lugar a una mayor abundancia de algas que liberan carbono orgánico disuelto (D)C consumido por las esponjas, que liberan nutrientes que potencian el crecimiento de las algas.</li> <li>2. La alteración del ciclo del carbono y los nutrientes altera la actividad microbiana, lo que repercute negativamente en el microbioma del coral.</li> <li>3. La descarga de los ríos y el polvo arrastrado por el viento influyen en estas interacciones</li> </ol>	Pawlik et al. 2016.
Sistemas de arrecifes de coral de Cuba	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La Habana - severamente impactada por nutrientes y sedimentos</li> <li>2. Artemisa - impactada</li> <li>3. Los Colorados</li> <li>4. Isla de Juventud</li> <li>5. Los Canarreos - saludables</li> <li>6. Península Ancón - de bajo impacto</li> </ol>	González-Díaz et al. 2018;

	7. Jardines de la Reina- casi prístino	
Sistemas de arrecifes del Caribe mexicano: Puerto Morelos, Akumal, Cozumel, Boca Paila, Mahahual, Banco Chinchorro	Aumento de la cubierta de macroalgas carnosas asociado a una importante eutrofización y contaminación del agua causada por un tratamiento inadecuado de las aguas residuales	Rioja-Nieto y Alvarez-Filip, 2019
Arrecifes de coral de Estados Unidos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sureste de Florida : 62% (Deterioro)</li> <li>2. Cayos de Florida: 71% (Regular)</li> <li>3. Tortugas secas: 73% (Regular)</li> <li>4. Flower Garden Banks, Golfo de México: 89% (Bueno)</li> <li>5. Puerto Rico: 70% (Regular)</li> <li>6. Islas Vírgenes de EE.UU: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Santa Cruz: 73 (aceptable)</li> <li>b. St. Thomas y St. John: 69% (Regular)</li> </ol> </li> </ol> <p>Esquema de puntuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>90 a 100% (Muy bueno):</b> Todos o casi todos los indicadores cumplen los valores de referencia; las condiciones no están afectadas, están mínimamente afectadas o no han disminuido.</li> <li>• <b>80 a 90% (Bueno):</b> La mayoría de los indicadores cumplen los valores de referencia; las condiciones están ligeramente impactadas o han disminuido ligeramente.</li> <li>• <b>70 a 79% (Regular):</b> Algunos indicadores cumplen los valores de referencia. Las condiciones en estos lugares están moderadamente afectadas o han disminuido moderadamente.</li> <li>• <b>60 a 69% (Deficiente):</b> Pocos indicadores cumplen los valores de referencia. Las condiciones están muy afectadas o han disminuido considerablemente.</li> <li>• <b>0 a 59% (Crítico):</b> Muy pocos indicadores, o ninguno, cumplen los valores de referencia. Las condiciones están gravemente afectadas o han disminuido considerablemente.</li> </ul>	Estas evaluaciones son los informes sobre el estado de los arrecifes de coral en 2020 del Programa de Conservación de Arrecifes de Coral de la NOAA. No se utilizaron indicadores explícitos de la calidad del agua.
Arrecifes de coral del Caribe	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los arrecifes de coral del Caribe han sido atacados por los males relacionados con el cambio climático desde la década de 1970</li> <li>2. El dominio de las macroalgas no parece ser un estado comunitario alternativo estable.</li> <li>3. La pérdida de la cobertura coralina regional y los cambios asociados en la comunidad bentónica están relacionados con eventos puntuales discretos con causas conocidas (enfermedades del coral y blanqueamiento)</li> </ol>	Precht et al. 2020. El estudio se basó en una revisión de un conjunto de datos regionales de información sobre la composición bentónica de los arrecifes del Caribe que abarca los años 1977-2001.

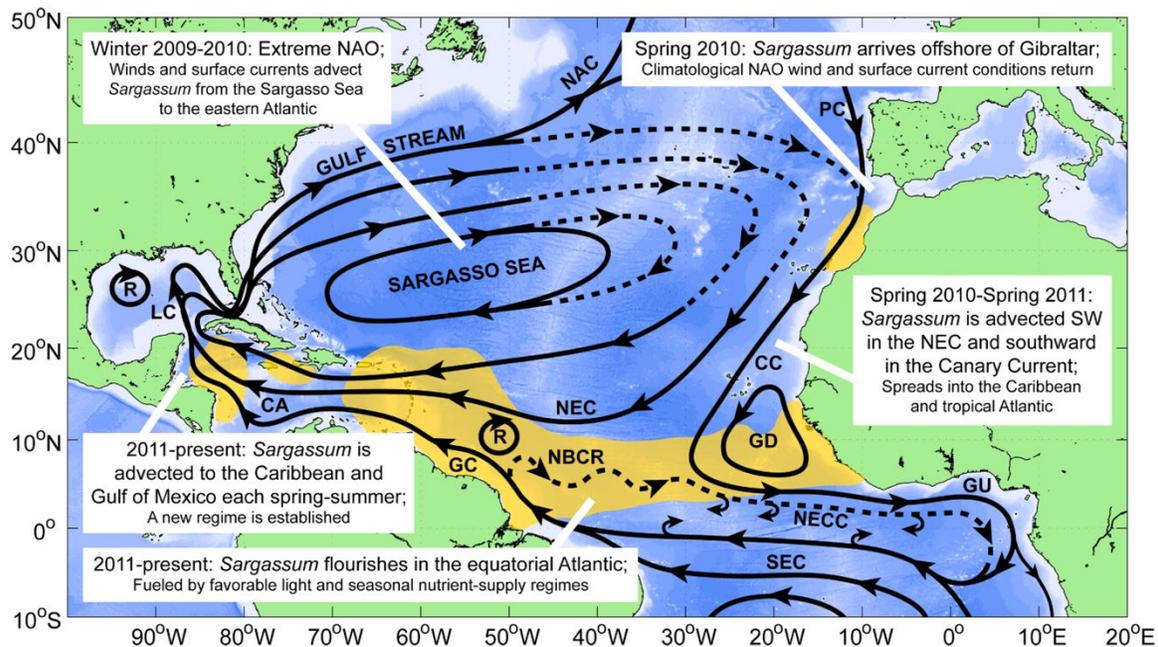
### 3.1.7 Contaminación por nutrientes y floraciones de sargazo nocivas/nocivas

#### Impulsores, origen y mantenimiento de la floración de Sargazo

Desde 2011, los caracoles pelágicos de Sargazo han varado anualmente a lo largo de las costas del Caribe insular, las costas caribeñas de México y América Central, los estados del Golfo de Estados Unidos y la costa atlántica de África occidental tropical, en cantidades variables, pero inusualmente grandes. La firma óptica de esta formación masiva de floraciones se ha denominado "gran cinturón de sargazo del Atlántico" (Wang et al. 2019). En condiciones normales, las especies pelágicas *Sargassum fluitans* y *S. natans* son habitantes de un giro oligotrófico subtropical conocido como Mar de los Sargazos (Figura 3.19). La propagación de estas especies más allá del Mar de los Sargazos es objeto de investigación científica, dadas sus consecuencias económicas inmediatas sobre el turismo y los crecientes impactos sobre la salud pública en la Región del Gran Caribe. Una breve revisión de los wracks de Sargazo en esta sección tiene como objetivo explorar si la contaminación terrestre puede contribuir potencialmente al mantenimiento de esta floración de macroalgas nocivas.

Johns et al. (2020) ofrece una hipótesis completa sobre el origen, la propagación y el mantenimiento de la floración de Sargazo como un evento de dispersión a larga distancia a escala de cuenca (es decir, la cuenca del Atlántico) que ha alcanzado un nuevo estado de equilibrio a partir del invierno de 2009-2010, cuando comenzó la propagación. Las características y la cronología de esta hipótesis se describen a continuación (<https://www.aoml.noaa.gov/chasing-sargassum/>) (Figura 3.19):

- a. "Durante el invierno de 2009-2010, los vientos que típicamente soplan hacia el este desde las Américas hacia Europa, se fortalecieron y cambiaron hacia el sur, un evento muy inusual que desencadenó una dispersión de Sargazo de larga distancia hacia el este, desde el Mar de los Sargazos hacia la Península Ibérica en Europa y África Occidental.
- b. "Después de salir del Mar de los Sargazos, el Sargazo derivó hacia el sur en la Corriente de Canarias (CC) y entró en los trópicos. En este nuevo y favorable hábitat del Atlántico tropical, con amplia luz solar, aguas cálidas y disponibilidad de nutrientes, la macroalga flotante floreció y desde entonces ha seguido creciendo.
- c. "Habiendo establecido una nueva población, el Sargazo ahora se agrega casi todos los años en abril-mayo en una hilera masiva o "cinturón" al norte del ecuador, a lo largo de la región donde convergen los vientos alisios (Zona de Convergencia Intertropical o ITCZ).
- d. "Durante la primavera, el sargazo sigue la excursión estacional de esta región convergente hacia el norte. En junio, el cinturón se extiende por todo el Atlántico tropical central.
- e. "Grandes porciones de las algas son entonces transportadas al Caribe y al Golfo de México a través de los sistemas de corriente ecuatorial del norte (NEC) y de corriente del Caribe.
- f. La parte occidental de la acumulación de macroalgas también se beneficia de los nutrientes de la pluma del río Amazonas. Sin embargo, un estudio realizado en 2021 por Jouanno et al. proporciona datos de 15 años sobre la exportación de nutrientes fluviales de los ríos Amazonas, Orinoco y Congo al Atlántico tropical. Su análisis mostró tendencias decrecientes en la biomasa de fitoplancton para el período 2004-2018, lo que los llevó a concluir que los penachos fluviales no son probablemente los impulsores de primer orden de la floración de macroalgas nocivas.
- g. En octubre, la convergencia de los vientos alisios comienza a retroceder hacia el sur, se debilita y pierde la capacidad de concentrar el Sargazo. Una gran fila de Sargazo queda atrás y parches remanentes de la población de macroalgas permanecen dispersos en el Atlántico tropical central alrededor de 10-15N. Los parches remanentes proporcionan una población de semillas para la acumulación bajo la zona de convergencia al año siguiente.
- h. Los nutrientes distribuidos por la difusión de los remolinos y la mezcla con el viento de las capas de agua superficiales, incluidas las de los ríos Amazonas y Orinoco, y el afloramiento de África Occidental, sostienen las floraciones remanentes, hasta el año siguiente.



**Figura 3.19** Esquema que muestra la cronología de la formación y el transporte de la floración de Sargazo en 2009-2011 hasta el presente. (Fuente: Johns et al. 2020)

Como alga pelágica, el sargazo proporciona un hábitat crítico para los organismos de mar abierto, incluidas importantes especies de peces como el atún, el delfín, el peto y los peces de pico, así como las tortugas y las aves marinas. Por ello, en 2003 se aprobó un Plan de Gestión Pesquera del Hábitat de Sargazo Pelágico en la Región del Atlántico Sur de los Estados Unidos, que desde entonces ha aplicado estrictas restricciones a la explotación comercial de este importante hábitat pesquero (<https://safmc.net/fishery-management-plans-amendments/sargassum-2/>).

#### Impactos de las floraciones de Sargazo

Cuando los fangos de Sargazo son transportados a través de las aguas costeras poco profundas donde crecen los corales y las hierbas marinas, y aterrizan en las playas de toda la Región del Gran Caribe, se convierten en macroalgas nocivas con consecuencias adversas que aún no se conocen del todo para la biota y las personas. En las aguas costeras, su descomposición a lo largo de la costa del Caribe mexicano en 2015 condujo a la reducción de la luz, el oxígeno y el pH (van Tuessenbroek et al. 2017). La afluencia de nutrientes se estimó en 6150 kg de N km<sup>-2</sup> y 61 kg de P km<sup>-2</sup>, acercándose a las condiciones eutróficas, y provocando la sustitución de las praderas de la hierba marina *Thalassia testudinum* por algas y epífitas a la deriva. Los lixiviados del Sargazo en descomposición provocaron condiciones de hipoxia y redujeron la diversidad de fuentes de alimento para un erizo de mar herbívoro clave, *Diadema antillarum*, y se agravó por la reducción del oxígeno disuelto que es crucial para la supervivencia fisiológica de este erizo de mar y de muchas otras biotas del arrecife (Cabanillas-Teran et al 2019). Estos dos sitios no eran eutróficos antes de la llegada de los varamientos de Sargazo. Queda por saber cómo las aguas costeras que ya son eutróficas o hipóxicas antes de la floración de macroalgas de origen terrestre potencian aún más el crecimiento del Sargazo, que también estaría en fase de floración activa. La hipótesis elaborada por Johns et al. (2020) indica que las plumas fluviales enriquecidas procedentes del Amazonas y del Orinoco ayudan

a alimentar la floración durante el tránsito. La misma interacción puede ocurrir con las aguas eutróficas costeras.

Además de precipitar condiciones eutróficas e hipóxicas en las aguas costeras, se encontró que los varamientos de Sargazo albergan bacterias potencialmente patógenas, incluyendo *Vibrio* y *Alteromonas* (Michotey et al. 2020). La alta tasa de crecimiento del Sargazo parece favorecer la colonización exitosa por parte de las bacterias patógenas. Se necesitan más estudios para ver si la tasa de crecimiento global de las algas a lo largo de sus rutas de dispersión permitiría una colonización viable por parte de los patógenos que impondría riesgos adicionales para la salud cuando las varillas lleguen a las zonas costeras.

Una vez que las algas varadas llegan a tierra, éstas invaden un bien natural muy valorado por el turismo, las playas de arena del Caribe. México ha gastado 17 millones de dólares en la eliminación de las algas desde que llegaron a sus costas caribeñas en 2011, donde los costes de limpieza se estimaron en 1.000 dólares por metro de costa (Chávez et al. 2020, Taylor 2019). Después de 48 horas en la costa, el Sargazo en descomposición comienza a emitir gases de sulfuro de hidrógeno y amoníaco, que pueden causar intoxicación gaseosa y lesiones potencialmente mortales (Resiere et al. 2018). Entre enero y agosto de 2018, cuando el Sargazo alcanzó su mayor extensión hasta la fecha, Guadalupe reportó más de 3300 casos, Martinica con 8000 casos de exposición aguda. El Gobierno francés se comprometió a suministrar equipos para la eliminación de las algas en un plazo de 48 horas desde el varamiento de las algas, a controlar las concentraciones de gas H<sub>2</sub>S en las costas impactadas y a formar al personal médico en toxicología, por un importe de 10 millones de euros.

Una evaluación sistemática de los impactos ecológicos, económicos y de salud pública de los varamientos de Sargazo a escala nacional y regional están en una etapa incipiente. En 2018, la Unidad de Coordinación Regional del Caribe del PNUMA envió una encuesta a los Puntos Focales Nacionales para proporcionar una evaluación rápida a escala regional, aunque cualitativa, del alcance de la afluencia de Sargazo en la Región del Gran Caribe (Figura 3.20). Los estados y territorios insulares de las Antillas Menores (subregión IV de la Región del Gran Caribe), los Estados Unidos y México experimentaron los varamientos más graves de la región en 2018. El turismo y la pesca fueron considerados por el 86% y el 75% de los encuestados, respectivamente, como los principales sectores económicos más afectados por la floración de macroalgas nocivas (Figura 3.21a). El 71% y el 61% de los encuestados señalaron el ensuciamiento de las playas y los peces muertos, respectivamente, como las consecuencias más extendidas (Figura 3.21b).

Para ayudar al seguimiento exhaustivo de la afluencia de Sargazo, Trinanes et al. (2021) describieron el Informe de Inundación de Sargazo (SIR), una visión general semanal del riesgo de varamientos de Sargazo en la Región del Gran Caribe. Las previsiones semanales de riesgo se basan en observaciones por satélite, a partir de julio de 2019 y están disponibles para el acceso público en [https://www.aoml.noaa.gov/phod/sargassum\\_inundation\\_report/](https://www.aoml.noaa.gov/phod/sargassum_inundation_report/). El Anexo 3.1 proporciona informes semanales de riesgo de inundación de Sargazo para la semana del 31 de marzo al 6 de abril de 2020; y para la semana del 30 de marzo al 5 de abril de 2021 para permitir la comparación de los riesgos semanales en un intervalo de un año.

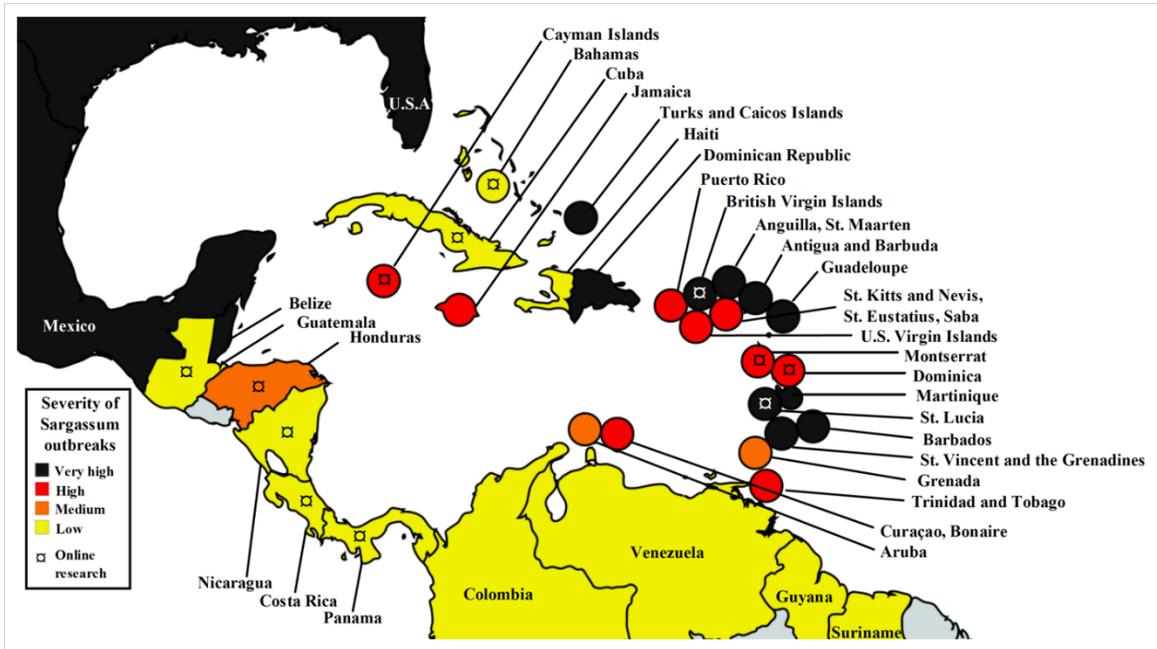


Figura 3.20 Gravedad de los varamientos de Sargazo en la Región del Gran Caribe basada en las respuestas a la encuesta de 22 Puntos Focales Nacionales, observaciones por satélite y búsquedas en línea. (Fuente: PNUMA CAR/UCR, 2018).

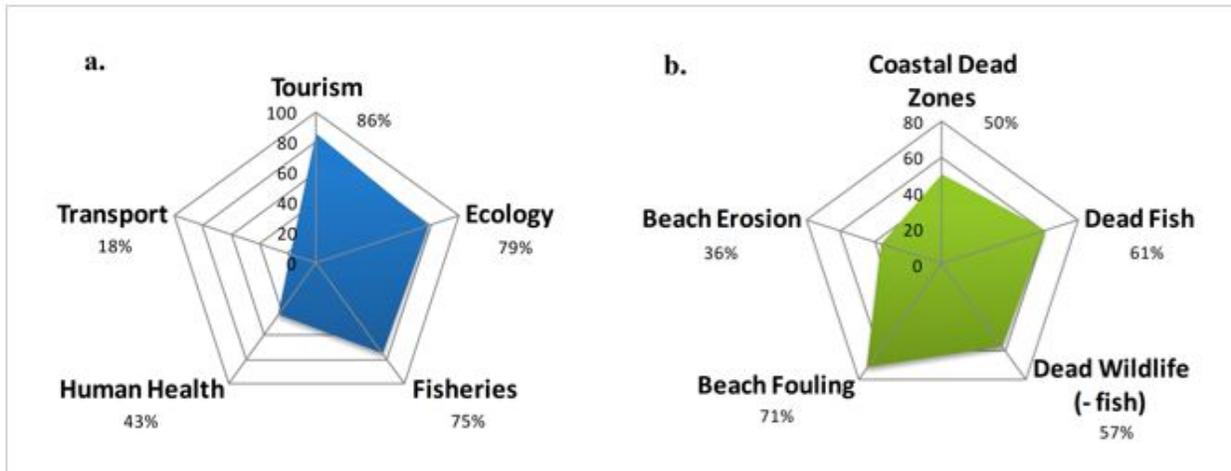


Figura 3.21 Porcentaje de territorios en los que la ecología y los sectores económicos se han visto afectados negativamente por las floraciones de Sargazo (a); y en los que se han producido impactos en el ecosistema como consecuencia de los varamientos (b). Tamaño de la muestra de la encuesta, n = 28 territorios. (Fuente: UNEP CAR/RCU, 2018).

El Sargazo como recurso económico potencial

Una pregunta obvia es si se pueden aprovechar las oportunidades de una molesta floración de macroalgas que puede estar preparada para convertirse en otra normalidad medioambiental como el calentamiento global. Una primera cuantificación de la reserva de carbono contenida en la floración de Sargazo es de 13.100 millones de toneladas (13,1 Pg) a escala global, comparable a la biomasa sobre el suelo de los bosques de manglares, las marismas o las praderas marinas (Gouvea et al. 2020). Como tal, podría eliminar

potencialmente el CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante la fotosíntesis y convertirlo en biomasa si se mantiene como algas vivas en proporciones de floración. Una cuestión importante es cómo gestionar el secuestro de carbono por parte de las macroalgas a una escala tan transnacional, dados los costes ecológicos, de salud pública y económicos que las nocivas algas han impuesto hasta ahora en la región.

Un análisis inicial de tres morfotipos de las algas descubrió que contenían una elevada cantidad de arsénico, por lo que no podían utilizarse para productos alimenticios humanos (Davis et al. 2020). Los tipos de algas también contenían bajas cantidades de alginato, que es un aditivo comercialmente importante utilizado en la industria alimentaria. Otro uso potencial de las algas Sargazo que se está explorando es como medio de biosorción y bioacumulación, una biomasa no viva que puede aglutinar y capturar contaminantes en las aguas costeras, y que puede ser potencialmente reciclada dentro de un marco general de economía circular (Saldarriaga-Hernández et al. 2020). Incluir el manual de uso de recursos de la FAO.

Quedan muchos interrogantes sobre la molesta floración de Sargazo como fenómeno oceanográfico inducido por el cambio climático y como potencialmente nueva normalidad. Las sociedades de la Región del Gran Caribe, y la humanidad en general, necesitan elaborar seriamente una estrategia sobre cómo abordarlo para garantizar la viabilidad de las economías azules a escala mundial, regional y nacional y a largo plazo. Por si la polifacética cuestión de la contaminación por nutrientes no fuera suficiente, este problema que afecta a toda la cuenca parece magnificar la apropiación indebida por parte de la humanidad de los servicios de los ecosistemas a escala global y con una distribución asimétrica de los impactos adversos, de modo que la Región del Gran Caribe se enfrenta a consecuencias singularmente graves:

Escala	Naturaleza de la Floración de sargazo molesta	Mitigación (véase el capítulo 5)
<i>Global</i>	<b>La causa principal:</b> El uso desmedido de combustibles fósiles está calentando el planeta y cambiando los patrones climáticos	Reconocimiento y compromiso de mitigación a escala global mediante la reducción de las emisiones globales de carbono que minimizarán la floración de Sargazo en extensión y duración. La articulación formal debería incorporarse al Acuerdo de París. El IPCC debería modelar y validar si el objetivo de temperatura de 1,5C es suficiente para disipar la floración del Sargazo en sus evaluaciones periódicas, si es posible.
<i>A nivel de cuenca (cuenca atlántica)</i>	<b>Causa próxima:</b> La zona de convergencia de los vientos alisios es empujada hacia el sur, lo que desencadena la dispersión en toda la cuenca del Sargazo pelágico hacia el este de la costa ibérica, y luego hacia el sur y el oeste del Mar Caribe >> Los parches de las algas para sembrar las floraciones ya se han dispersado a partir del invierno de 2009-2010	
<i>Regional (RGC)</i>	<b>Manifestación inmediata:</b> La floración de sargazo molesto está causando estragos en los arrecifes de coral y las praderas marinas, en el turismo y la pesca, y está poniendo en riesgo la salud pública. Dada su génesis, puede que no sea posible volver a la situación anterior a la floración. <b>Posible uso de los recursos:</b> Se está estudiando la posibilidad de transformar las algas en fertilizantes, papel, cosméticos y otros productos comercializables, al tiempo que se aborda el problema del sulfuro de hidrógeno, el arsénico y otros metales pesados que pueden agravar los impactos negativos cuando se filtran al medio marino como compuestos bioactivos.	El NPRSAP regional proporciona un marco para reducir la contaminación por nutrientes procedente de fuentes terrestres, incluyendo el potencial para desarrollar medios de vida basados en Sargassum sp.

Si es cierta la premisa de que la causa fundamental de la floración de Sargazo es el cambio climático, entonces debe ser reconocida como tal por la comunidad mundial. Además, su mitigación debería incorporarse al Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, incluyendo la elaboración de modelos comunitarios para determinar las condiciones climáticas que puedan alterar la formación y el mantenimiento de la floración. Los países de la Región del Gran Caribe, especialmente los pequeños estados insulares, deberían recibir ayuda para el desarrollo (creación de capacidad en ciencia y tecnología) para abordar estratégicamente los impactos enumerados anteriormente. La región tiene que minimizar su exposición a la molesta eutrofización inducida por la floración de algas marinas poniendo freno a las fuentes terrestres de contaminación por nutrientes que emanan de las cuencas hidrográficas de la región (Capítulo 5), incluidas las de las cuencas del Amazonas y el Orinoco.

## 3.2 IMPACTOS SOCIALES

Los impactos sociales de la salud ambiental referidos a la contaminación por nutrientes incluirían la exposición de las personas a sustancias peligrosas en el aire, el agua, el suelo y los alimentos, el cambio climático, los riesgos laborales y el entorno construido, siguiendo un marco utilizado por la Oficina de Prevención de Enfermedades y Promoción de la Salud de Estados Unidos (<https://www.healthypeople.gov/2020/topics-objectives/topic/environmental-health>). La cuestión de las poblaciones vulnerables en relación con el género, la edad y la ocupación se incluirá cuando haya datos disponibles.

### 3.2.1 Exposición a plaguicidas

El uso de productos químicos para la protección de los cultivos se analiza en el capítulo 2, sección 2.3. Parte de la RGC son cinco de los 10 países con las tasas de aplicación de plaguicidas más altas del mundo, basándose en los promedios de un período de 28 años desde 1990 hasta 2018: Bahamas (# 1), Costa Rica (# 2), Barbados (# 3), Santa Lucía (# 5) y Colombia (37) por ha de tierra de cultivo por año. Costa Rica es la región del mundo que más plaguicidas utiliza por persona: 2,4 kg de plaguicidas por persona al año de media entre 2000 y 2004 (Bravo et al. 2011). Calibrado a cada trabajador agrícola individual para el mismo período, la estimación para Costa Rica es de 42,5 kg de ingredientes activos por trabajador al año. En términos de toxicidad, las importaciones de plaguicidas para Centroamérica durante el período de estudio de 5 años se clasificaron por nivel de toxicidad de los ingredientes activos de la siguiente manera:

- (1) toxicidad aguda, de alta a extremadamente alta: 22,4%;
- (2) toxicidad moderada a grave: 36,1%;
- (3) toxicidad crónica, 29,7%; y
- (4) plaguicidas en al menos un grupo de peligro: 65,2%.

Los grupos se superponen ya que los niveles de toxicidad se determinan a nivel de ingrediente activo, y los productos plaguicidas vienen cada uno en combinación de uno o más productos químicos activos. A pesar de la combinación de niveles de toxicidad que maneja cada trabajador agrícola, un uso de 42,5 kg/año en 300 días de trabajo en Costa Rica se traduce en unos 0,85 kg por semana de exposición.

El Population Reference Bureau, en su estudio de 2001, estimó que en Centroamérica habría unos 4,6 millones de niños trabajadores de entre 5 y 14 años; de los cuales el 70%, es decir, 3,2 millones, estarían trabajando en el sector agrícola o forestal. La probabilidad de que estuvieran expuestos a los plaguicidas en las tasas estimadas anteriormente era muy alta. Los datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) informaron de unos 6.500 casos de intoxicación aguda (es decir, de corta duración) por plaguicidas

en Centroamérica en el año 1999, de los cuales el 60% estaban relacionados con el trabajo. En 2000, la OPS documentó 247 casos de niños menores de 15 años intoxicados por plaguicidas en El Salvador, 142 casos en Honduras, 101 en Costa Rica y 60 en Guatemala, con 16 víctimas mortales.

Los conjuntos de datos más antiguos proporcionan más información sobre las poblaciones en riesgo de exposición a los plaguicidas. Durante el periodo de 1980 a 1986, los trabajadores agrícolas de Costa Rica con mayor incidencia de lesiones por plaguicidas fueron los que tenían entre 20 y 29 años de edad, a causa de equipos defectuosos, condiciones de viento durante la aplicación de la pulverización o derrames durante el traslado o la mezcla (Araya et al 2014). Un estudio de 1996 que cruzó las referencias de los trabajadores de las plantaciones bananeras con el Registro Nacional de Tumores de Costa Rica mostró un elevado riesgo de melanoma y cáncer de pene en los hombres, un mayor riesgo de cáncer de cuello uterino en las mujeres, así como un mayor riesgo de leucemia y cáncer de pulmón para los trabajadores de las plantaciones bananeras en general (Wesseling et al. 1996). Un estudio de seguimiento realizado en 1998 demostró que en las zonas de Costa Rica en las que se concentraban las explotaciones de café y en las que se utilizaba en gran medida el plaguicida paraquat, las incidencias de cáncer de labio, esófago y estómago eran elevadas (Wesseling et al. 1998). En las zonas en las que predominaban las plantaciones de plátanos y en las que se utilizaban con frecuencia los plaguicidas clorotalonil, mancozeb y dibromocloropropano, aumentaban las frecuencias del cáncer respiratorio, de ovarios y de próstata.

El número de víctimas de la exposición a los plaguicidas está muy subestimado, dada la escasez de datos actualizados y la ausencia de estudios sistemáticos para cuantificar y desglosar la mano de obra por género y grupo de edad. La falta de protección laboral de los niños, las mujeres y los hombres que se dedican a los cultivos alimentarios y de exportación de la región debe ser abordada por los graves problemas de salud pública y ambiental. Como se menciona en el apartado 2.3 de este informe, la aplicación de plaguicidas puede hacerse en modo profiláctico y con tasas que protejan a los trabajadores y a los ecosistemas, así como a los cultivos y productos. Habría que establecer normas de seguridad laboral y desarrollar programas de divulgación para garantizar la reducción de los riesgos. Un buen modelo a emular en lo que respecta al diseño de normas de seguridad en la región es el realizado por la Iniciativa de Salud y Seguridad Ocupacional del Plátano de Ghana (BOHESI), que elaboró un conjunto de directrices sobre el empleo saludable y seguro de las mujeres en la industria del plátano de Ghana (BOHESI 2019). Las directrices eran explícitas y detalladas a la hora de explicar los principales peligros y riesgos para las mujeres que eran exclusivos de su constitución física y fisiológica. Del mismo modo, sería prudente que solo los trabajadores adultos y formados manipularan los plaguicidas.

### **3.2.2 Exposición a los patógenos de los residuos domésticos**

En la sección 2.4 de este informe se ofrecen estimaciones del modelo de las aguas residuales no tratadas liberadas en el medio ambiente para el año 2000 en 23,3 mil toneladas de N y 3,1 mil toneladas de P (Beusen et al. 2016). Los autores calcularon una estimación basada en un inventario actualizado para el año 2010 de 39 mil toneladas de N y 13 mil toneladas de P. Más allá de la contribución de nutrientes de las aguas residuales no tratadas está la carga de patógenos que estas cantidades transportan. Los autores analizaron los datos disponibles sobre la diarrea para el período comprendido entre 1990 y 2016 con el fin de determinar en qué medida los factores ambientales contribuyeron a los riesgos de enfermedad de la diarrea. La figura 2.8 indica que los factores ambientales (agua no potable, saneamiento y lavado de manos) aumentaron el riesgo de diarrea del 29% en 1990 al 65% en 2016, para ambos sexos y todas las edades. Las enfermedades diarreicas que causaron más muertes para los niños menores de 5 años fueron

el cólera, la enteritis rotaviral y la shigeliosis; las enfermedades que provocaron la muerte para todas las edades fueron el cólera, *Clostridium difficile* y la enteritis rotaviral.

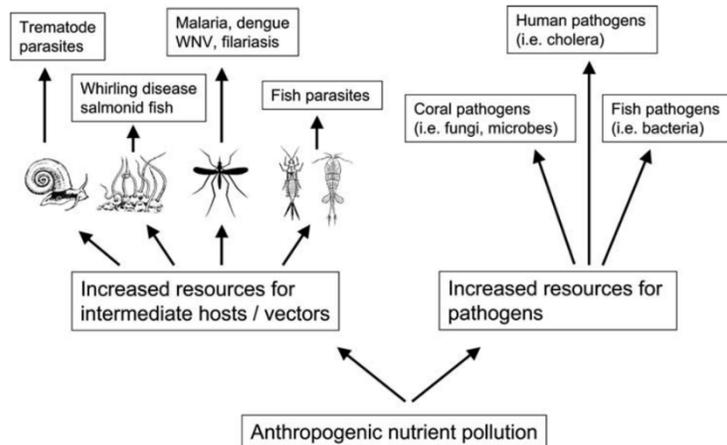
En un estudio de 2007 de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas, se constató que en 15 países de ALC, alrededor de 28 millones de niños de 0 a 5 años tenían dificultades para acceder al agua potable y al alcantarillado (Hopenhayn y Espíndola 2007). En 7 países para los que se desglosaron los datos, las poblaciones rurales son las que tienen menos acceso al saneamiento, y los indígenas y los niños y adolescentes afrodescendientes son los más afectados. El grupo de edad de 0 a 5 años es el período de alto riesgo a enfermedades infecto-contagiosas, deshidratación, mortalidad por diarrea infantil y desnutrición, con deterioro cognitivo a largo plazo y rendimiento escolar inferior (CEPAL 2007). Proporcionar agua potable mejorada y acceso a un saneamiento mejorado es una inversión para el bienestar de la próxima generación, incluyendo un entorno saludable.

### **3.2.3 Exposición a las floraciones de algas nocivas (HABS) y a las floraciones de sargazos molestos**

Los impactos ambientales de las FAN se tratan en el apartado 3.1.3; y los de la floración de Sargazo en el apartado 3.1.7. Las poblaciones afectadas por las FAN y el Sargazo no han sido bien documentadas. Es importante que los funcionarios de salud traten estas enfermedades o síndromes de salud ambiental como cualquier enfermedad, requiriendo una documentación médica completa que pueda ser diseñada conjuntamente con los científicos ambientales para que se capture la cronología desde los síntomas hasta la presentación completa de la enfermedad, incluyendo los factores ambientales asociados. Estos conjuntos de datos pueden analizarse desde la doble óptica de la salud y la ecología para que la mitigación sea holística y las estrategias puedan centrarse en el nexo. La identificación de las subpoblaciones de mayor riesgo puede ayudar a diseñar programas de sensibilización y prevención.

### **3.2.4 Enriquecimiento ambiental de nutrientes y aparición de enfermedades**

El aumento de nutrientes de la tierra al mar puede desencadenar un aumento de enfermedades parasitarias e infecciosas que pueden amenazar a los seres humanos, al ganado y a la vida silvestre (Figura 3.20) (McKenzie y Townsend, 2007; Johnson et al. 2010; Rohr et al. 2019). Los patógenos de los corales responden positivamente al enriquecimiento de nutrientes, como en los casos de la aspergilosis y los agentes de la enfermedad de la banda amarilla, que aumentaron en brotes con el incremento de la escorrentía de nutrientes (Johnson et al. 2010).



**Figura 3.22** Diagrama conceptual que muestra cómo los huéspedes intermedios de enfermedades y los vectores y patógenos pueden responder positivamente al enriquecimiento de nutrientes en el medio ambiente. (Fuente: McKenzie y Townsend, 2007)

En las zonas húmedas del Caribe, como en Belice, la escorrentía enriquecida con fósforo procedente de la agricultura y los asentamientos provocó la sustitución de la vegetación de juncos por altas y densas espadañas. La espadaña proporcionó un hábitat para el mosquito *Anopheles albimanus*, que es un eficaz vector del parásito de la malaria *Plasmodium* (Grieco et al. 2006).

En la jerga de la salud pública, las enfermedades parasitarias e infecciosas afectan a las personas en situación de pobreza y a menudo son ignoradas por el sector sanitario. Se denominan enfermedades olvidadas de poblaciones olvidadas (Ehrenberg y Ault, 2005). Las enfermedades parasitarias, ya sean transmitidas por vectores, a través de los alimentos o por el agua, suelen afectar a los niños en edad escolar, a las mujeres en edad fértil o a los cabezas de familia (hombres o mujeres). Por ello, la reducción de la contaminación por nutrientes se hace aún más imperiosa a la luz de las poblaciones vulnerables con el mayor riesgo al que se enfrentan con el aumento de los flujos de nutrientes.

### 3.3 IMPACTOS ECONÓMICOS

Shortle y Horan (2017) consideran que la contaminación por nutrientes es un problema perverso para la valoración económica, dada la complejidad de las interacciones y las múltiples fuentes, vías, destinos y ciclos implicados, que se manifiestan a múltiples escalas. Aunque su origen sea totalmente antropogénico, al igual que los plásticos, el problema de la contaminación por nutrientes es a la vez planetario (debido a la circulación oceánica y a las interacciones tierra-mar-aire) y a escala de la cuenca hidrográfica. Al reunir la información para esta sección, no se ha intentado que las estimaciones en dólares sean coherentes en todos los temas; y se enumeran para proporcionar estimaciones mínimas de los costes parciales incurridos que están asociados con los impactos más directos.

#### 3.3.1 Costes de la contaminación por nutrientes en los sistemas de agua dulce

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA) recopiló datos sobre los costes de la contaminación por nutrientes. Para este documento, se seleccionan los elementos valorizados relevantes para los eventos de agua dulce y se resumen en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Costes externos de la contaminación por nutrientes en los sistemas de agua dulce (US EPA 2015). No es posible realizar un cálculo total de los costes, ya que las estimaciones proceden de fuentes dispares con lugares de diferente escala espacial y cobertura temporal.**

Categoría	Coste	Efecto económico
Turismo y ocio en la orilla del lago	De 37 a 47 millones de dólares	Disminución de las ventas de restaurantes, aumento de los cierres de negocios a orillas del lago, disminución del gasto turístico
Valores de la propiedad	61 a 85.000 dólares	Las cantidades indican el cambio de valor con una diferencia de 1 metro en la claridad del agua; no el valor total de una propiedad
Costes de tratamiento del agua potable	13 millones de dólares en 2 años	Tratamiento del agua del lago afectada por la proliferación de algas
Mitigación	11.000 dólares por un solo año de tratamiento de paja de cebada; 28 millones de dólares en capital; 1,4 millones de dólares en operaciones anuales	Costes específicos del lugar
Restauración	2,4 millones de dólares en 3 años	Costes específicos del lugar

### 3.3.2 Costes de las floraciones de algas nocivas en las aguas costeras

Hoagland et al. 2002 calcularon los efectos económicos de las floraciones de algas nocivas en las aguas costeras de Estados Unidos durante el periodo 1987-1992. Los autores señalaron los problemas de contabilidad y las lagunas de datos que podrían hacer que las estimaciones fueran menos significativas. Los costes incluían cuatro tipos básicos de efectos: salud pública, pesca comercial, ocio y turismo, y seguimiento y gestión. Como el estudio se realizó a escala nacional para todos los componentes, los autores pudieron proporcionar los costes totales como estimaciones mínimas.

**Tabla 3.5 Resumen de los efectos económicos de las FAN en Estados Unidos (millones de dólares del año 2000) (Hoagland et al 2002). Este informe actualiza los costes totales a 2021 USD.**

Categoría	Mín	Prom	Máx	Efecto económico
Intoxicación por mariscos	<1	<1	1	Pérdidas de productividad y costes médicos de las morbilidades y mortalidades por intoxicaciones
Intoxicación por ciguatera en el pescado	15	19	22	Pérdidas de productividad y costes médicos de las morbilidades y mortalidades por envenenamiento
Pesca comercial	7	12	19	Impactos directos en la producción de los cierres de pesquerías en las pesquerías reales
Recursos pesqueros sin explotar	0	6	9	Impactos directos en la producción de los cierres de pesquerías en recursos hipotéticos (sin explotar)
Recreación y turismo	0	7	29	Reducción de los gastos derivados de los cierres de las pesquerías recreativas; ralentización de la hostelería y el turismo costeros
Seguimiento y gestión	2	2	2	Presupuestos y gastos gubernamentales para el muestreo medioambiental, la administración de los cierres y las advertencias sobre el consumo de marisco y la limpieza de playas
<b>Costes totales 2000 \$</b>	<b>24</b>	<b>46</b>	<b>83</b>	La mayoría de los efectos en todas las categorías son impactos directos en la producción
<b>Costes totales 2021 \$ (2000\$ X 1.52)</b>	<b>36</b>	<b>70</b>	<b>126</b>	Costes ajustados a la tasa de inflación.

### 3.3.3 Costes de la floración molesta de sargazos

La tabla 3.6 enumera los costes y eventos preliminares asociados a la floración de *Sargassum*. Una evaluación sistemática podría proporcionar los costes aproximados de los impactos a escala de la RGC. Los países afectados podrían proporcionar datos nacionales que puedan ser evaluados mediante un marco común basado en indicadores, de modo que éstos puedan ser ampliados a la región.

**Tabla 3.6 Resumen de los efectos económicos de la molesta floración de Sargazo. No se ha realizado un cálculo completo de los daños en ninguno de los lugares afectados en la RGC.**

Categoría	Coste	Efecto económico
Limpieza de playas	1.000 dólares por metro de playa (México)	17 millones de dólares gastados por México desde 2011 para eliminar 520.000 toneladas de algas, más 2,6 millones de dólares para eliminar 85.000 toneladas en 2019 (Chávez et al. 2020) o un coste de eliminación de 33 dólares/tonelada de algas;
Intoxicación por gas H2S y NH3	45 millones de dólares al año (Florida, EE.UU.)	Subvención de 10 millones de euros del gobierno francés para hacer vigilancia y formación médica y limpieza de playas en Guadalupe y Martinica (Resieri et al. 2018)
Arrecifes de coral dañados	No hay datos	Causada por la eutrofización inducida por floraciones nocivas en los arrecifes de coral mexicanos (Cabanillas-Teran et al 2019)
Hierbas marinas dañadas	Sin datos	Causado por la eutrofización inducida por floraciones nocivas sobre pastos marinos mexicanos (van Tuessenbroek et al. 2017)
Pérdida de ingresos del turismo	Sin datos	La ocupación disminuyó durante las floraciones nocivas y los huracanes
Pérdida de ingresos de la pesca	Sin datos	Barbados: Pérdidas por sectores de cosecha y postcosecha para el período 2010-2015 (Ramlogan 2017)

### 3.3.4 Costes de la mitigación de las enfermedades inducidas por la contaminación por nutrientes

En el apartado 3.2 se analizan los impactos sociales de la contaminación por nutrientes. Los costes de los programas de mitigación para minimizar el riesgo de las poblaciones afectadas deben evaluarse para obtener una imagen más completa de los beneficios de la reducción de la contaminación por nutrientes. La reducción de los flujos de nutrientes y pesticidas ahorra dinero, minimiza la exposición a los riesgos de enfermedades causadas por la eutrofización y desastres a los ecosistemas. El hecho de que los puntos de inflexión en los ecosistemas o en los estados climáticos parezcan haber sido cruzados y conduzcan a una floración de algas casi perpetua debería obligar a que el diseño de las estrategias sea sistémico y estratégico. Un plan que reconozca la interacción entre la contaminación por nutrientes y el cambio climático puede dar prioridad a los objetivos a medio y largo plazo, y crear un amortiguador para suavizar los impactos de las eventualidades no lineales e imprevisibles (figura 3.21) (véase el capítulo 5).

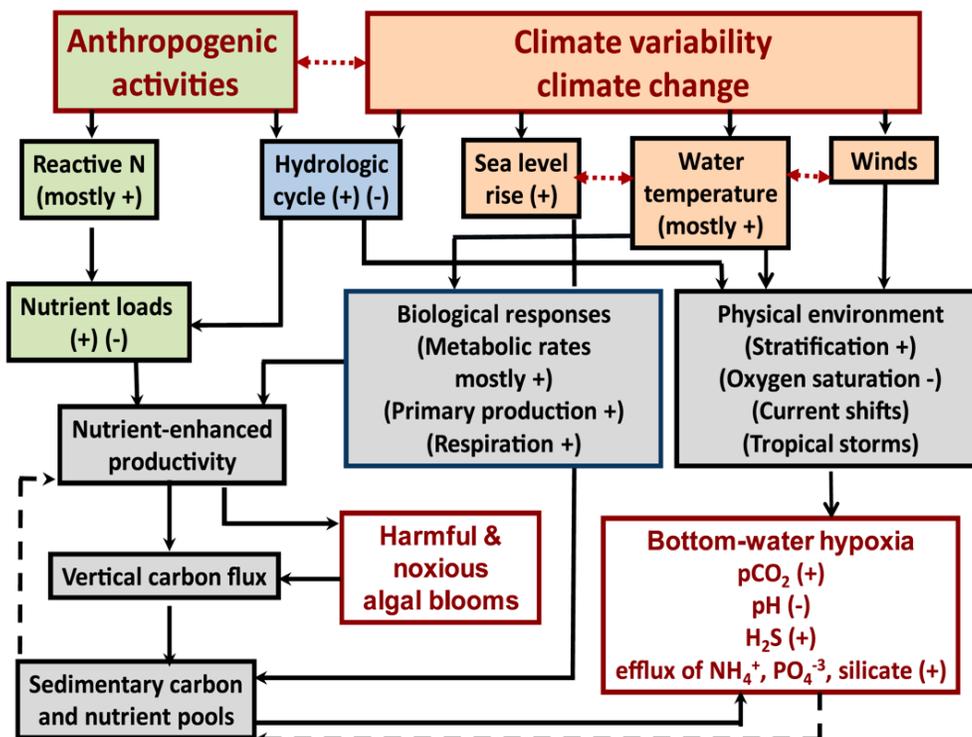


Figura 3.23 Interacciones entre el clima y los cambios inducidos por la contaminación de nutrientes (Rabalais y Turner 2019). Las interacciones positivas (+) indican los procesos o parámetros que aumentarán; las interacciones negativas (-) muestran los que disminuirán. Las líneas discontinuas muestran el proceso de retroalimentación negativa que puede amortiguar la producción aumentada por los nutrientes y la hipoxia resultante. La línea de puntos entre las actividades antropogénicas y el cambio climático indica que el ser humano es el principal impulsor del cambio climático contemporáneo, y que el cambio climático tendrá consecuencias que afectarán gravemente a las actividades humanas. (Fuente: Rabalais y Turner, 2019).

## 4 BASES EXISTENTES PARA ABORDAR LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Los capítulos anteriores ofrecen una visión general de la contaminación por nutrientes en los países y territorios de la Región del Gran Caribe (RGC), incluyendo las fuentes de contaminación, las cargas de nutrientes en las aguas costeras procedentes de fuentes y actividades terrestres y el estado de las aguas costeras. El capítulo 4 presenta una visión general de los enfoques de gobernanza actuales y de la situación de la región en cuanto a las capacidades existentes (condiciones propicias) para la contaminación por nutrientes, e identifica algunas de las principales lagunas y barreras que deberán abordarse para una aplicación eficaz del RNPRSAP y del plan de acción (capítulo 5). La información de este capítulo puede contribuir a establecer una base de referencia para evaluar la aplicación de la estrategia. El capítulo 4, que no pretende ser un análisis exhaustivo, se centra en el ámbito nacional, con información proporcionada a nivel regional y mundial cuando es necesario. El capítulo 5 integra la información a nivel de país con la información global y regional en un análisis más amplio de las condiciones favorables que son necesarias para la aplicación del RNPRSAP.

La información sobre los países se basa principalmente en los informes subregionales para los países y territorios de habla inglesa y francesa (IMA, 2020) y los países de habla hispana (CIMAB, 2020), y los informes nacionales para los países del Gran Ecosistema Marino de la Plataforma Norte de Brasil (NBSLME) (Universidad de Para, 2020). Gran parte de la información de los países y territorios de habla inglesa y francesa se obtuvo mediante encuestas realizadas por el Instituto de Asuntos Marinos (IMA) y la Unidad de Coordinación Regional del Caribe del PNUMA (UNEP CAR RCU). Uno de los retos fue el bajo índice de respuesta, ya que sólo respondieron 12 países/territorios. Otra fuente de información para este capítulo fue una evaluación regional de referencia (2011-2015) realizada por Fanning y Mahon (2020) utilizando el Marco de Evaluación de la Eficacia de la Gobernanza (GEAF).

La evaluación del GEAF se basa en la información obtenida mediante una encuesta entre los países y territorios y las organizaciones intergubernamentales pertinentes que se ocupan de la pesca, la contaminación y la degradación del hábitat/la biodiversidad. Para la evaluación de la contaminación del GEAF, que se centró en las fuentes terrestres (efluentes de aguas residuales industriales, efluentes de aguas residuales domésticas, sedimentos en la escorrentía, nutrientes en la escorrentía agrícola y residuos sólidos) y en las fuentes marinas de contaminación (contaminación por petróleo, aguas residuales y residuos sólidos), se obtuvieron respuestas de 24 países y territorios. Debido a los bajos índices de respuesta en las dos encuestas, los resultados no deben considerarse concluyentes. No obstante, la información obtenida fue útil para proporcionar una visión general de la situación en la región. Durante la aplicación del RNPRSAP será necesario realizar una evaluación exhaustiva de las capacidades, las carencias y los obstáculos a nivel regional, subregional y nacional.

## **4.2 GOBERNANZA DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES**

### **4.2.1 Marco institucional**

La Región del Gran Caribe cuenta con una gran variedad de instituciones y mecanismos nacionales, subregionales/regionales e internacionales que son relevantes para abordar la contaminación del medio ambiente marino (véase el cuadro 10.1 en PNUMA-PAC, 2019), aunque no todos abordan explícitamente la contaminación por nutrientes. La Secretaría del Convenio de Cartagena/UNEP CAR RCU es el principal organismo regional con un mandato relacionado con la contaminación del medio marino. A través de sus subprogramas de contaminación y biodiversidad marina, la Secretaría desempeña un importante papel de liderazgo en apoyo de la protección del medio ambiente marino de la Región del Gran Caribe, incluso mediante la coordinación de proyectos y actividades relacionadas con el Protocolo relativo a la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres del Convenio de Cartagena (Protocolo FTCM). Aunque este Protocolo proporciona un mecanismo de coordinación regional y un marco común para la contaminación por nutrientes, hasta la fecha sólo ha sido ratificado por 16 países. Asociados al Protocolo LBS hay mecanismos institucionales que cumplen distintas funciones: El Comité Asesor Científico y Técnico (STAC); el Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación del FTCM; y los Centros de Actividad Regional (CAR) del FTCM -el IMA y el Centro de Investigación y Gestión Ambiental del Transporte (CIMAB) de Cuba- y la Red de Actividad Regional (RAN) de instituciones técnicas y personas que prestan apoyo técnico. El Convenio de Cartagena también proporciona un mecanismo para la implementación de varios Acuerdos Ambientales Multilaterales (AMUMA) y otros compromisos globales y regionales como la Agenda 2030 y los ODS, en particular el Objetivo 6 sobre Agua y Saneamiento y el Objetivo 14 sobre los Océanos. Esta coordinación garantiza que los programas, proyectos y actividades se ejecuten de forma integrada y respondan directamente a las necesidades y prioridades de la región.

La Estrategia Regional para la Protección y el Desarrollo del Medio Ambiente Marino de la Región del Gran Caribe (2020-2030) del Programa Ambiental del Caribe (PAC) y la Estrategia de los Océanos del PNUMA especifican los principios operativos y de orientación sobre la promoción de enfoques desde la fuente hasta el mar en la gestión de la contaminación de origen terrestre; la mejora de la gestión basada en los ecosistemas; la ampliación de los patrones de consumo y de consumo sostenible; el fomento de las consideraciones del capital natural en la gestión de los recursos; y el fortalecimiento de la interfaz ciencia-política. Los cuatro objetivos estratégicos de la Estrategia Regional del PAC son muy pertinentes para el desarrollo del RNPRSAP de la Región del Gran Caribe.

La principal plataforma mundial establecida para dirigir los diálogos y las acciones para promover una gestión eficaz de los nutrientes es la GPNM (Recuadro 1.1, Capítulo 1). Como se menciona en el capítulo 1, la Plataforma del Caribe de la GPNM se puso en marcha en 2013, con el propósito de trasladar el trabajo del PNUMA y de la GPNM al nivel de los países para impulsar políticas y fomentar la aplicación de las mejores prácticas de gestión de nutrientes para minimizar los impactos adversos en el medio ambiente marino. La GPNM y la Secretaría del Convenio de Cartagena convocaron la segunda reunión de la Plataforma del Caribe en 2016, que fue coorganizada por el IMA. La reunión contribuyó a una mayor concienciación sobre los problemas de gestión de nutrientes en el Caribe, consideró las recomendaciones de la primera reunión, presentó un proyecto de plan de acción y propuso posibles mecanismos institucionales para apoyar el trabajo de la Plataforma dentro de la región. En la reunión se acordó: (i) un plan de acción para la puesta en marcha de la Plataforma del Caribe para la Gestión de Nutrientes, (ii) mecanismos para la integración y la sostenibilidad de la Plataforma en los marcos existentes, y (iii) la identificación de oportunidades inmediatas de proyectos en curso o previstos para apoyar las actividades relacionadas con los nutrientes en la región.<sup>1</sup> La RNPRSAP seguirá desarrollando y consolidando estas propuestas iniciales. Junto con el Protocolo FTCM, la Plataforma del Caribe del GPNM se convertirá en la principal plataforma regional para un enfoque armonizado de la gestión de nutrientes en la Región del Gran Caribe. Esto cuenta con el apoyo del Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades en Tierra (GPA).

Otros mecanismos que se centran específicamente en la contaminación por nutrientes y sus impactos son las Redes Regionales de Floraciones de Algas Nocivas (FAN) de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI-UNESCO) (Red del Caribe para las Algas Nocivas en el Caribe y Regiones Adyacentes, y la Red Sudamericana para las Floraciones de Algas Nocivas en América del Sur) y el Grupo de Trabajo sobre el Sargazo, este último creado durante la Conferencia de las Partes (COP) 10 del Convenio de Cartagena celebrada en Honduras en 2019.

Los mecanismos subregionales de integración relevantes son la Comunidad del Caribe (CARICOM), el Sistema de Integración Centroamericana (SICA)/Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) y la Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS), cada uno con su respectivo marco político subregional de ambiente y desarrollo sostenible. Los proyectos e iniciativas subregionales que son relevantes para la contaminación por nutrientes incluyen:

- CARICOM: En el marco del objetivo de "reducir la vulnerabilidad al riesgo de catástrofes y a los efectos del cambio climático y garantizar una gestión eficaz de los recursos naturales en todos los Estados miembros", la CARICOM ha desarrollado una iniciativa estratégica de "mejora de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales", cuyo objetivo es la prevención y el

---

<sup>1</sup> Actas, GPNM Segunda Reunión de Planificación Regional del Taller de la Plataforma del Caribe para la Gestión de Nutrientes, 24 y 25 de febrero de 2016, Puerto España, Trinidad y Tobago.

control de la contaminación y la gestión de los residuos.<sup>2</sup> Se está elaborando un marco de acción regional para la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) para la región de la CARICOM en el marco del proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) "Integración de la gestión del agua, la tierra y los ecosistemas en los pequeños Estados insulares en desarrollo del Caribe" (IWEco).

- SICA: El Marco Estratégico Ambiental Regional 2015-2010 incluye acciones estratégicas para varias áreas que incluyen la calidad ambiental, la gestión integrada de los recursos hídricos, el océano, los bosques y la biodiversidad, entre otras. El SICA/CCAD está ejecutando el proyecto del FMAM "Manejo Integrado de Arrecifes de la Ecorregión del Arrecife Mesoamericano" (MAR2R), en Belice, Guatemala, Honduras y México. El proyecto MAR2R tiene como objetivo crear las condiciones necesarias para que los principales actores regionales, nacionales y locales a lo largo del continuo cresta-arrecife colaboren y gestionen los recursos de agua dulce, costeros y marinos del SAM.
- OECO: La Estrategia de Desarrollo de la OECO 2019-2028 incluye acciones estratégicas para promover y facilitar la gestión adecuada de productos químicos, residuos y contaminación.<sup>3</sup> Se han elaborado marcos de política de gestión integrada de las cuencas hidrográficas para tres islas de la OECO (Santa Lucía, San Vicente y San Cristóbal).

Un importante organismo regional es la Agencia de Salud Pública del Caribe (CARPHA), cuyo Departamento de Salud Ambiental y Desarrollo Sostenible (EHSD) desempeña un papel principal en áreas clave relacionadas con la gestión ambiental para una salud pública óptima. Sus laboratorios especializados apoyan la vigilancia, la prevención, la promoción y el control de importantes problemas de salud pública en la Región.

Para la cuenca del Amazonas, la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), de la que forman parte Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, tiene un papel importante en el desarrollo sostenible de la cuenca. El proyecto "Fortalecimiento de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica" (o Programa Regional Amazónico), ejecutado por la GIZ, se centra en el fortalecimiento de las capacidades de la OTCA para satisfacer las demandas de los países amazónicos en materia de desarrollo sostenible en la Amazonia. En el marco del proyecto del FMAM "Gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos en la cuenca del río Amazonas teniendo en cuenta el cambio y la variabilidad del clima", se elaboró un Programa de Acción Estratégica (PAE) para aplicar la GIRH transfronteriza en la cuenca.

El gran número y la diversidad de marcos y mecanismos institucionales de la región exigen una fuerte coordinación a todos los niveles, que debe mejorarse (Fanning et al., 2007; Mahon et al., 2013). Fanning y Mahon (2020) examinaron el marco de gobernanza de la región en el contexto de las cinco etapas del ciclo político (datos e información, síntesis y prestación de asesoramiento, toma de decisiones, aplicación y revisión y evaluación). Sugirieron que el Mecanismo de Coordinación Provisional del PEA del CLME+<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> CARICOM. Construir la resiliencia ambiental. <https://caricom.org/about-caricom/what-we-do/strategic-priorities/building-environmental-resilience>

<sup>3</sup> Estrategia de desarrollo de la OECO 2019-2018. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1fpfs1PLNIldV5xMskqP0jALZp0MM8\\_pP/view](https://drive.google.com/file/d/1fpfs1PLNIldV5xMskqP0jALZp0MM8_pP/view)

<sup>4</sup> El CLME+ ICM se creó en 2015 y reúne a 10 organizaciones intergubernamentales con un mandato relacionado con los océanos: El PNUMA, representado por la Secretaría del Convenio de Cartagena; la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en nombre de la Comisión de Pesca del Atlántico Centro-Occidental (COPACO); la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Organización de las Naciones Unidas

(ICM) puede considerarse un mecanismo de coordinación regional que abarca la contaminación. El MCI contribuye a la aplicación coordinada del PAE del CLME+ y supervisa, evalúa e informa sobre la aplicación del PAE, centrándose en la degradación del hábitat, la contaminación y la pesca insostenible, y prestando la debida atención al cambio climático. Habrá que determinar el papel exacto del MCI en la aplicación de la estrategia.

A nivel nacional, en todos los países existen diversas instituciones y mecanismos (ministerios y departamentos gubernamentales, organismos/autoridades de protección del medio ambiente, instituciones académicas y de investigación, laboratorios medioambientales, ONG y organizaciones comunitarias, entre otros) que desempeñan diferentes funciones relacionadas con la protección y la gestión del medio ambiente. En la mayoría de los casos, la responsabilidad de aplicar y hacer cumplir las diferentes leyes y políticas aplicables a la contaminación por nutrientes está repartida entre diferentes departamentos y organismos gubernamentales, con niveles variables de coordinación entre ellos. En la mayoría de los países y territorios no existen mecanismos multiinstitucionales y multisectoriales que aborden explícitamente la contaminación. Una excepción notable es el Grupo de Trabajo sobre Hipoxia (HTF) del Golfo de México de EE.UU., formado por representantes de diferentes organismos federales y estatales (incluidos los que tienen responsabilidades sobre las actividades en el río Misisipi y su cuenca, y en el Golfo de México) y las tribus. La función del HTF es proporcionar dirección y apoyo a nivel ejecutivo para coordinar las acciones de las organizaciones participantes que trabajan en la gestión de nutrientes dentro de la cuenca del río Misisipi. Entre otros países que cuentan con comités nacionales interinstitucionales para diversas áreas temáticas, incluida la contaminación marina, se encuentra Colombia.

Un mecanismo que puede cumplir potencialmente una función de coordinación son los Comités Nacionales Interministeriales/Intersectoriales (CNI). Los resultados de una encuesta de 2015 sobre los CNI en la región del CLME+ mostraron que aproximadamente dos tercios de los países tenían algún tipo de CNI (McConney et al., 2016). Sin embargo, hay margen de mejora en relación con todas las funciones que pueden desempeñar los CNI, siendo el área más débil la de vincular los procesos nacionales y regionales (Fanning y Mahon, 2020).

La Región del Gran Caribe contiene importantes ríos transfronterizos y acuíferos subterráneos transfronterizos, cuya gestión requiere el establecimiento o el fortalecimiento de mecanismos multinacionales para la gestión de nutrientes en el sistema transfronterizo (por ejemplo, la OTCA y el marco de coordinación institucional conjunto para la cuenca del Río Motagua propuesto en el marco del proyecto PNUD/FMAM "Gestión ambiental integrada de la cuenca del Río Motagua entre Guatemala y Honduras").

En el capítulo 5 de esta estrategia se analiza el marco institucional de la RGC en materia de contaminación en el contexto del marco de gobernanza a escala múltiple del LME (Fanning et al., 2007). Este marco se basa en un ciclo político genérico y consiste en un conjunto de actores e instituciones gubernamentales y no gubernamentales anidados y vinculados lateralmente. A partir de un análisis de los ciclos políticos existentes para identificar sus puntos fuertes y débiles, será necesario establecer y/o mejorar los ciclos y vínculos multiescala para la aplicación de la estrategia.

---

para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO-COI); Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS); Mecanismo Regional de Pesca del Caribe (CRFM); Organización Centroamericana de Pesca y Acuicultura (OSPESCA); Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD); y la Comunidad del Caribe (CARICOM).

#### 4.2.2 Instrumentos de gobernanza

Colectivamente, los países de la Región del Caribe han ratificado varios AMUMA relevantes, como se muestra en la Figura 4.1. El Convenio de Cartagena es el único AMUMA regional que aborda la protección y el uso sostenible del Mar Caribe. Hasta la fecha, 26 países han ratificado el Convenio de Cartagena y 16 han ratificado el Protocolo FTCM, siendo este último el más bajo entre los tres Protocolos del Convenio y entre todos los demás marcos relevantes, como se muestra en la Figura 4.1.

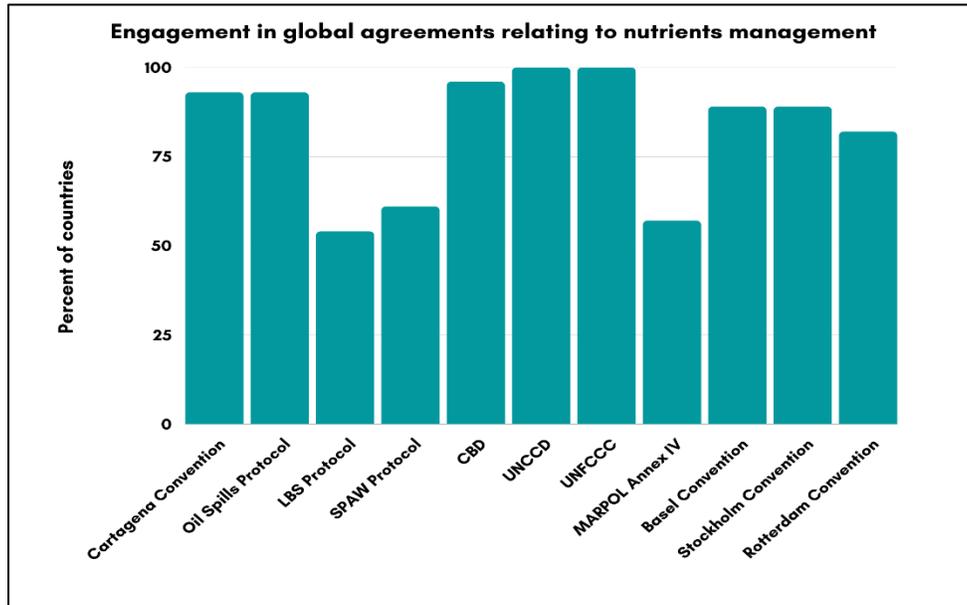


Figura 4.1 Proporción de países comprometidos con los AMUMA de relevancia para los nutrientes (Preparado por UCR/CAR PNUMA).

El objetivo del Protocolo FTCM es controlar, prevenir y reducir la contaminación procedente de fuentes y actividades terrestres. Los proyectos y actividades ayudan a los gobiernos de la Región del Caribe a establecer límites de efluentes y emisiones para las aguas residuales domésticas; a utilizar tecnologías y prácticas adecuadas de prevención de la contaminación; y a intercambiar información científica y técnica sobre la contaminación, incluida la cooperación en las áreas de planificación, seguimiento e investigación. La cuestión de la contaminación por nutrientes se aborda explícitamente en el Anexo I del Protocolo FTCM (que incluye las aguas residuales domésticas y las fuentes agrícolas no puntuales, así como una serie de industrias que contribuyen a la contaminación por nutrientes entre las categorías de fuentes prioritarias y las actividades que afectan al área del Convenio; y los compuestos de nitrógeno (N) y fósforo (P) entre los principales contaminantes de interés); el Anexo III sobre aguas residuales domésticas (fuentes puntuales); y el Anexo IV sobre fuentes agrícolas no puntuales.

Existen retos en la aplicación del Convenio y los Protocolos a nivel nacional (Corbin 2013; PNUMA-PAC 2019), que también se extienden a la aplicación de otros AMUMA. El fortalecimiento de la capacidad de los países para cumplir sus obligaciones como partes de los AMUMA está siendo abordado por el programa de AMUMA de la Organización de Estados de África, el Caribe y el Pacífico (ACP), que es una asociación conjunta entre la Unión Europea, los Estados ACP, el PNUMA y la FAO. La actual tercera fase se centra en la aplicación efectiva, el cumplimiento, la supervisión y la presentación de informes de los AMUMA y los compromisos relacionados en los grupos de productos químicos, residuos y biodiversidad. La Secretaría del Convenio de Cartagena está ejecutando las actividades de la tercera fase.

La tabla 4.1 muestra los instrumentos de gobernanza (políticas, planes estratégicos, planes de gestión, legislación y reglamentos) existentes para hacer frente a las fuentes de contaminación terrestres y marinas en función de todos los posibles acuerdos de gobernanza regionales: Organización Marítima Internacional-Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos (OMI-OPRC) y Memorando de Entendimiento para el Control por el Estado Rector del Puerto (PSC MdE); Convenio de Cartagena del PNUMA sobre Derrames de Petróleo y Protocolos FTCM) y organismos subregionales (CARPHA, CCAD) que podrían estar en funcionamiento para abordar estas fuentes de contaminación (Fanning y Mahon, 2020). Las políticas y los planes estratégicos fueron los instrumentos de gobernanza más utilizados por las organizaciones regionales y subregionales durante el periodo de referencia.

**Tabla 4.1 Instrumentos de gobernanza regionales y subregionales para abordar las fuentes de contaminación terrestres y marinas (Fanning y Mahon, 2020). nr: sin respuesta**

Fuentes de contaminación	Arreglos	Instrumentos de gobernanza				
		Políticas	Planes estratégicos	Planes de gestión	Legislación	Normativa
Vertido de aguas residuales en tierra	Protocolo PNUMA-FTCM	✓	✓	✓	✓	✓
	CARPHA	✓	✓	✓		
	CCAD	nr	nr	nr	nr	nr
Eliminación de residuos sólidos en tierra	PNUMA-FTCM	✓				
	CARPHA					
	CCAD	nr	nr	nr	nr	nr
Vertidos de petróleo en el mar	Protocolo sobre derrames de petróleo del PNUMA	✓	✓	✓	✓	✓
	IMO-OPRC	✓	✓	✓	✓	✓
Otros líquidos de origen marino	IMO -PSC MoU					
	PNUMA- Conv. de Cartagena	✓	✓			
Eliminación de residuos sólidos de origen marino	IMO - PSC MoU	✓	✓	✓	✓	✓
	PNUMA - Conv. de Cartagena	✓	✓			

De especial relevancia es la Senda de Modalidades de Acción Acelerada (SAMOA) de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID), en vista del gran número de PEID en la RGC. Una de las áreas prioritarias acordadas es la de los "océanos y mares", en la que se pide a los gobiernos que se ocupen de la contaminación marina, entre otras cosas mediante el desarrollo y la aplicación de los acuerdos pertinentes, como el PAM del PNUMA y, según proceda, los instrumentos sobre desechos marinos y sobre la contaminación por nutrientes, aguas residuales y otros tipos de contaminación marina, y mediante el intercambio y la aplicación de las mejores prácticas.

A nivel nacional, todos los países cuentan con instrumentos y programas de gobernanza que abordan la contaminación en general (anexo 4.1). Cabe señalar que gran parte de la información del anexo 4.1 procede de los informes nacionales (países NBSLME) y subregionales elaborados para esta estrategia, así como de las respuestas al cuestionario de los 12 países y territorios de habla inglesa y francesa (es posible

que haya incoherencias en este anexo, ya que en muchos casos la información facilitada era poco clara y estaba abierta a la interpretación). El grado en que estos instrumentos y programas abordan explícitamente la contaminación por nutrientes varía según los países, y va desde la ausencia de objetivos específicos en materia de nutrientes hasta las estrategias integrales de reducción de la contaminación por nutrientes de la cuenca del río Mississippi en EE.UU. (Recuadro 4.1) y la Directiva sobre nitratos de la Unión Europea (UE), que establece normas europeas para la reducción de los vertidos de nitratos de origen agrícola.

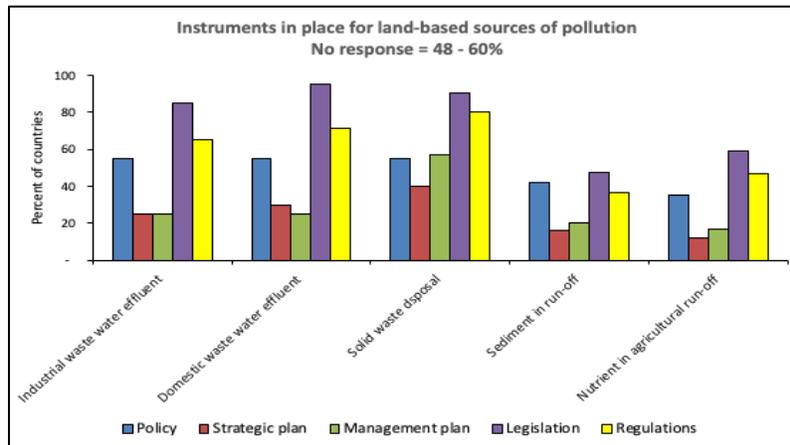
El problema del sargazo en la región ha desencadenado una serie de respuestas políticas e iniciativas a nivel nacional y regional. Esto representa quizás el único esfuerzo regional para abordar explícitamente un problema al que se cree que contribuye la escorrentía excesiva de nutrientes a las aguas costeras (por ejemplo, Wang et al., 2019; Johns et al., 2020). El desarrollo de protocolos de gestión, por ejemplo, los protocolos de Puerto Morelos y Puerto Rico, y el protocolo del Mecanismo Regional de Pesca del Caribe (CRFM) para la gestión del sargazo en los Estados miembros de la OECS (CRFM, 2016) son ejemplos de respuestas políticas al sargazo. Además, en la primera Conferencia Internacional sobre el Sargazo celebrada en octubre de 2019, varios países y territorios de la Región del Caribe, junto con varias organizaciones regionales e internacionales, firmaron una "Declaración sobre el Sargazo" y acordaron establecer un Programa de Cooperación del Caribe contra el Sargazo (SARG'COOP). La mayoría de estas respuestas, sin embargo, parecen centrarse en la mitigación de los impactos de los varamientos de Sargazo en lugar de las causas subyacentes de su proliferación.

**Cuadro 4.1. Actividades de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) de EE.UU. relacionadas con los programas de regulación de la contaminación por nutrientes**

- Revisar y aprobar las normas estatales de calidad del agua que contienen criterios numéricos de nutrientes en virtud de la Ley de Agua Limpia.
- Establecer normas nacionales de agua potable primaria para el nitrato y el nitrito.
- Inclusión de las cianobacterias tóxicas ("cianotoxinas") en la lista de candidatos a contaminantes prioritarios del agua potable y control de 10 cianotoxinas como parte de la cuarta norma de control de contaminantes no regulados.
- Publicación de directrices sobre efluentes para vertidos industriales y municipales que pueden contener límites relacionados con los nutrientes. Trabajar con los estados para identificar las masas de agua deterioradas por la contaminación de N y P y desarrollar cargas diarias máximas totales (TMDL) para restaurar o proteger las aguas.
- Administrar un programa de permisos de aguas residuales que establezca los límites de vertido y los requisitos de control necesarios para proteger las normas de calidad del agua y el medio ambiente de las fuentes puntuales de contaminantes relacionados con los nutrientes, es decir, de las instalaciones municipales e industriales, las operaciones concentradas de alimentación de animales (CAFO) y las aguas pluviales.
- Proporcionar a los estados, a la comunidad regulada y al público una orientación sobre los requisitos reglamentarios de los planes de gestión de nutrientes para las CAFO.
- Trabajar para reducir las emisiones atmosféricas de óxidos de nitrógeno a través de las normas de emisiones, el programa de comercio de óxidos de nitrógeno y el programa de lluvia ácida.
- Ayudar a los estados a reducir la contaminación atmosférica y a alcanzar las normas de aire limpio y a gestionar la contaminación atmosférica interestatal de las centrales eléctricas.
- Las aguas pluviales agrícolas y los flujos de retorno de la agricultura de regadío están exentos de la regulación de la Ley de Aguas Limpias.

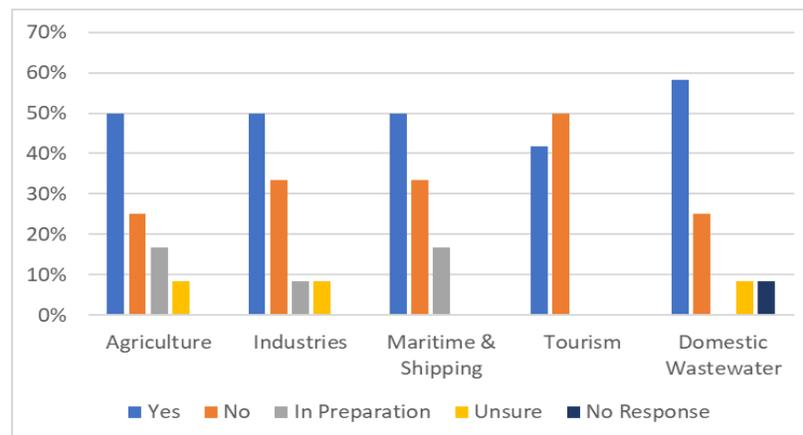
**Leyes y políticas sectoriales relacionadas con la contaminación por nutrientes**

Fanning y Mahon (2020) descubrieron que, entre las principales fuentes terrestres, los países y territorios del CLME+ tenían el mayor número de legislaciones en vigor para los efluentes de aguas residuales domésticas, mientras que el número más bajo correspondía a los nutrientes en la escorrentía agrícola y a la escorrentía de sedimentos (Figura 4.2). Hay que tener en cuenta que, debido al bajo índice de respuesta a la encuesta, los resultados no deben considerarse representativos de la región.



**Figura 4.2** Porcentaje de países y territorios del CLME+ que responden y que cuentan con instrumentos de gobernanza para las fuentes de contaminación terrestre (Fanning y Mahon, 2020).

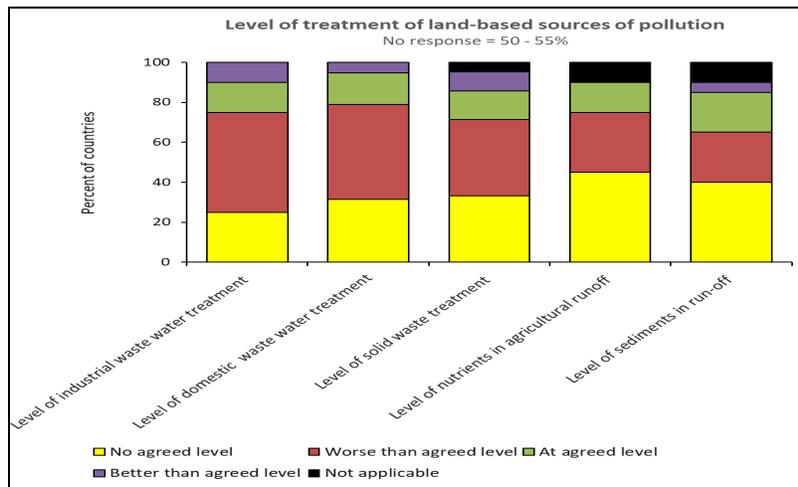
En el caso de los 12 países y territorios de habla inglesa y francesa de los que se disponía de respuestas, sólo la mitad de los encuestados indicaron que existían leyes y reglamentos sectoriales específicos para la contaminación por nutrientes de los cinco sectores principales identificados en la encuesta, mientras que otros indicaron que se estaban preparando reglamentos sectoriales (Figura 4.3).



**Figura 4.3** Información sobre los sectores específicos a los que se dirigen las políticas, leyes y planes de control de la contaminación por nutrientes en 12 países y territorios de habla inglesa y francesa.

El sector con el mayor número de leyes específicas para la contaminación fue el de las aguas residuales domésticas (similar a las conclusiones de Fanning y Mahon, 2020), mientras que el sector con el menor número de leyes de este tipo fue el del turismo (Figura 4.3). Algunos países, como Jamaica, indicaron que su normativa sobre vertido de efluentes abarca todos los sectores. En general, los países de habla hispana y los países NBSLME cuentan con políticas y normativas exhaustivas en materia de aguas residuales domésticas.

La figura 4.4 ilustra la evaluación del nivel actual de tratamiento de las aguas residuales industriales, las aguas residuales domésticas, la escorrentía de sedimentos, la escorrentía agrícola y los residuos sólidos en los países CLME+ (Fanning y Mahon, 2020). Aunque el objetivo previsto para los esfuerzos de reducción del estrés debería ser que todos los países informasen "al nivel acordado" o "mejor que el nivel acordado", la mayoría de los países y territorios encuestados se situaron muy por debajo de este objetivo, con "ningún nivel acordado" (amarillo) y "peor que el nivel acordado" (rojo), que representan más del 70% de los encuestados. Esto sugiere que es necesario un mayor esfuerzo para establecer criterios y normas y para controlar y reducir el nivel de estrés de estas fuentes de contaminación terrestres. Resulta especialmente relevante la proporción de países con "ningún nivel acordado" de tratamiento (amarillo), que fue la más alta para los nutrientes en la escorrentía agrícola. Asimismo, cabe destacar que algo más del 10% de los encuestados consideraron que el nivel de nutrientes en la escorrentía agrícola y de sedimentos en la escorrentía era "no aplicable" (Figura 4.4, color negro), que fue el más alto entre las cinco fuentes. La mayor proporción de países tenía un nivel de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales peor que el acordado.



**Figura 4.4 Nivel de esfuerzo entre los países del CLME+ para reducir el estrés de las fuentes de contaminación terrestre (Fanning y Mahon, 2020).**

Algunos países de la RGC reciclan y reutilizan las aguas residuales de forma limitada. Por ejemplo, en muchas islas del Caribe Oriental, los hoteles más grandes tienen plantas de tratamiento de aguas residuales in situ y reutilizan las aguas residuales para el riego (Peters, 2015). En Trinidad (Trinidad y Tobago), la planta de tratamiento de aguas residuales de Beetham proporciona unos 20 millones de galones al día de agua industrial de alta calidad que se transporta a través de una tubería submarina al polígono industrial de Point Lisas.

Como ya se ha mencionado, los únicos marcos existentes que abordan explícitamente la contaminación por nutrientes, incluida la procedente de la agricultura, son las estrategias de reducción de nutrientes de los estados de la cuenca del Misisipi de Estados Unidos y la Directiva sobre nitratos de la UE (Francia). Según los informes subregionales, existen políticas y normativas nacionales relacionadas con los fertilizantes y plaguicidas agrícolas en Antigua y Barbuda, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Guyana, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Santa Lucía, Surinam, Estados Unidos y Venezuela. Todos los países exigen permisos para la importación de plaguicidas y fertilizantes, y la mayoría lleva un registro de las importaciones y el uso de fertilizantes y plaguicidas. Los países centroamericanos

(Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Honduras y Guatemala) han definido un reglamento técnico regional que establece los requisitos para el registro de fertilizantes de uso agrícola. En general, las tasas de aplicación de fertilizantes no están reguladas, aunque algunos países tienen tasas recomendadas para cultivos específicos, por ejemplo, Guyana y Surinam para el arroz. Las subvenciones a los insumos agrícolas, como los fertilizantes y las semillas, han sido habituales en los países de ALC (Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, 2010). El uso de fertilizantes químicos nitrogenados es el más extendido, promovido y a menudo subvencionado por los programas agrícolas y los gobiernos locales, pero sin el apoyo concomitante de la educación, la extensión o los consultores hacia la reducción del uso de fertilizantes o la mejora de la eficiencia del uso de nutrientes (Sutton et al., 2013).

Todos los países/territorios cuentan con algún tipo de legislación y normativa para las actividades marítimas y de navegación, pero el grado en que éstas cubren la contaminación por nutrientes varía. Veintiséis países han ratificado los Anexos I y II del Convenio MARPOL, aunque las aguas residuales de los buques se abordan en el Anexo IV. Todos los países cuentan con normativas para sectores como la energía y el transporte, que producen contaminantes atmosféricos entre los que se encuentran los gases de efecto invernadero, incluidos los óxidos de nitrógeno (NOx). Estos últimos contribuyen a la contaminación por nutrientes de las aguas marinas a través de la deposición atmosférica.

### ***Enfoques integrados***

En muchos casos, hay poca armonización entre las normativas y sus organismos responsables, y el seguimiento y la aplicación de la calidad del agua son deficientes en muchos países (Norville y Banjoo, 2011). Además, aunque la tendencia general en los países es que las políticas existentes se centren en cuestiones individuales, la naturaleza multidimensional de la contaminación por nutrientes y los ciclos de los nutrientes pone de manifiesto la necesidad de un marco de gestión integrada de las cuencas hidrográficas. Según los informes subregionales, al menos 10 de los países cuentan con políticas y programas de gestión integrada, como la gestión integrada de las zonas costeras, la gestión integrada de las cuencas hidrográficas y la gestión integrada de las cuencas hidrográficas y las zonas costeras (es probable que se trate de una subestimación debido a la falta de información). Sin embargo, no se dispone de información sobre la medida en que estos programas abarcan la contaminación por nutrientes.

La estrategia de la cuenca del Mississippi de Estados Unidos adopta un enfoque de gestión integrada de las cuencas hidrográficas, mientras que la Directiva Marco del Agua de la UE exige que los planes de gestión de las cuencas hidrográficas vinculen los objetivos costeros y fluviales. En el informe subregional se menciona una estrategia de gestión de nutrientes de Jamaica, que se dirigirá en primer lugar a los sectores del turismo y la agricultura, pero no se dispone de detalles. La falta de una política nacional clara y de una gestión integrada en todos los sectores es un obstáculo importante para abordar la contaminación por nutrientes en la Región del Gran Caribe y los encuestados de los países/territorios de habla inglesa y francesa la consideraron una prioridad.

### ***Criterios y normas para los efluentes***

El Protocolo FTCM no ha establecido límites de vertido de efluentes ni normas de calidad de las aguas costeras para los nutrientes. Para el SOCAR, los criterios de calidad del agua costera para condiciones buenas, regulares y malas para el nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), el fósforo inorgánico disuelto (DIP), la clorofila a (Chl-a) y el oxígeno disuelto (DO) se basaron en los umbrales de la EPA de los Estados Unidos. La aprobación del SOCAR en 2019 por parte del STAC del Protocolo FTCM y la COP del Convenio de

Cartagena puede allanar el camino para la adopción formal de normas regionales para la calidad del agua costera, incluyendo los nutrientes.

A nivel nacional, muchos de los países han establecido (o están preparando) criterios, y normas y límites numéricos para los vertidos de efluentes y la calidad de las aguas costeras con respecto a los nutrientes (anexos 4.2 y 4.3). Según los informes subregionales y otra información, al menos el 57% de los 37 países y territorios de la Región del Gran Caribe tienen criterios, directrices y normas sobre nutrientes (N y P) en los vertidos de aguas residuales domésticas. Una proporción similar (57%) de los países dispone de normas y límites para los efluentes industriales. Esta proporción es mayor en los distintos grupos de países. En el caso de los países y territorios de habla inglesa y francesa, las normas y criterios para los límites de los vertidos de efluentes y el control de las fuentes puntuales de contaminación por nutrientes están actualmente en vigor en algo más del 80% de los países/territorios. Todos los países/territorios que respondieron a la encuesta indicaron que tienen o están preparando normas y criterios para la calidad de los efluentes y del agua ambiente. En la tabla 4.2 se ofrece una instantánea de la situación de los programas, normas y criterios de contaminación por nutrientes en los 12 países/territorios de habla inglesa y francesa. En virtud de la Ley de Agua Limpia de EE.UU., se establecen las TMDL de nutrientes para cumplir las normas de calidad del agua en una masa de agua receptora deteriorada (Karr y Yoder, 2004). La Ley de Agua Limpia se centra generalmente en dos tipos de controles para los vertidos de fuentes puntuales de contaminantes a las aguas estadounidenses: (1) controles basados en la calidad del agua, basados en normas estatales de calidad del agua, y (2) controles basados en la tecnología, basados en directrices y normas de limitación de efluentes (US EPA, 2018). Las normas estatales de calidad del agua contienen criterios numéricos de nutrientes en virtud de la Ley de Agua Limpia.

**Tabla 4.2 Proporción (%) de los 12 países/territorios de habla inglesa con programas, normas y criterios para la gestión de la contaminación por nutrientes (IMA, 2020).**

<b>Programa, norma y/o criterios de gestión de la contaminación por nutrientes</b>	<b>Si</b>	<b>No.</b>	<b>En Prep</b>
<b>Agencia designada para el control de la contaminación por nutrientes</b>	67	25	8
<b>Programa de seguimiento de la contaminación por nutrientes</b>	67	17	8
<b>Laboratorios y recursos humanos para el análisis de la contaminación por nutrientes</b>	75	8	8
<b>Control de la contaminación por nutrientes en fuentes puntuales</b>	67	25	8
<b>Control de la contaminación por nutrientes en fuentes no puntuales</b>	50	33	17
<b>Control anual de la carga de nutrientes contaminantes en el medio costero/marino</b>	25	50	8
<b>Normas y criterios para los límites de vertido de efluentes industriales para la contaminación por nutrientes</b>	58	0	17
<b>Normas y criterios para los límites de vertido de efluentes domésticos para la contaminación por nutrientes</b>	42	0	17
<b>Normas, directrices y criterios para definir el estado de la calidad del medio ambiente costero y marino</b>	50	17	17
<b>Normas y criterios para el vertido seguro en el medio ambiente, zonas sensibles, cerca de la costa, en alta mar</b>	42	17	17

La mayoría de los países de habla hispana cuentan con normas y límites máximos permisibles de N y P en la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a cuerpos de agua receptores y alcantarillas (Anexo 4.2). Las excepciones a esto último son Colombia, Cuba, Honduras y México, que no tienen límites máximos permisibles para la descarga en las alcantarillas. Sin embargo, dado que la descarga final de las

aguas residuales del sistema de alcantarillado (con o sin tratamiento) es a un cuerpo de agua receptor, las aguas residuales descargadas deben cumplir con los requisitos de descarga para el cuerpo de agua. En el caso de Cuba y México, entre otros, los límites máximos permitidos se especifican en función del uso designado (clase) del cuerpo de agua marino/costero receptor.

Algunos países como Colombia, República Dominicana, Guatemala y Nicaragua distinguen los límites según el tipo u origen de las aguas residuales (domésticas, industriales, de servicios, agrícolas, ganaderas, municipales, entre otras). En el caso de los países de habla hispana, los límites máximos de nutrientes permitidos se especifican en términos de concentración y no de carga contaminante real. Esta última debe tenerse en cuenta a la hora de evaluar el impacto de las sustancias que pueden causar daños en la masa de agua receptora y en relación con su capacidad de carga para los aportes de nutrientes. Existe una marcada variación en las concentraciones máximas permitidas para las diferentes formas de N y P, incluso para tipos similares de masas de agua receptoras, entre los países para los que se disponía de esta información.

En el caso de los países NBSLME, la política ambiental nacional brasileña establece las normas y condiciones para el vertido de los efluentes domésticos en las redes de recogida y drenaje, así como las normas analíticas para determinar el destino correcto del tratamiento y la eliminación final, realizadas en laboratorios acreditados ante los organismos públicos competentes. En el caso de la contaminación directa de cuerpos receptores, se adoptan las Resoluciones 430/2011 y 357/2005 del Consejo Nacional del Medio Ambiente.

Asimismo, Guyana cuenta con una normativa para el vertido de efluentes domésticos en el agua y prevé el establecimiento de normas de calidad del agua, además de directrices provisionales para las aguas residuales industriales. Venezuela cuenta con leyes generales que regulan la gestión del agua, la calidad del agua, el vertido de aguas residuales y las normas medioambientales. Según la información facilitada en los informes de estos tres países NBSLME, no está claro hasta qué punto la normativa de estos tres países aborda explícitamente la contaminación por nutrientes. En Surinam, no existen reglamentos sobre la contaminación de las aguas residuales y el alcantarillado que incluyan normas y límites, aunque algunas leyes abordan las prácticas de saneamiento y la eliminación de las aguas residuales. Un estudio reciente sobre la calidad del agua en los pólderes de arroz de Surinam utilizó normas holandesas para ciertos contaminantes, como el nitrato, el nitrito y el fosfato (Kramer, 2017).

### ***Criterios y normas de calidad del agua***

Sólo alrededor del 40% de los países de los que se disponía de información cuentan con criterios y normas de calidad del agua dulce y costera-marina en relación con el N y el P (Anexo 4.1). De los nueve países de habla hispana, sólo cuatro (Colombia, Cuba, República Dominicana y México) tienen normas y reglamentos de calidad del agua en relación con el N y el P (Anexo 4.3). Estas normas están vinculadas a criterios que reflejan los usos designados (por ejemplo, agua potable, recreativa, industrial, portuaria, de navegación) o a criterios ecológicos. Sólo unos pocos países tienen normas de calidad del agua para la sílice (Si), que es un nutriente esencial para el crecimiento de las diatomeas y otras algas, y un indicador utilizado en el cálculo del Índice de Potencial de Eutrofización Costera<sup>5</sup> (ICEP). Los territorios franceses controlan el Si en las aguas subterráneas, los ríos/lagos y las aguas costero-marinas, y se supone que existen límites de vertido y normas de calidad del agua para el Si, aunque la Directiva de la UE sobre el

---

<sup>5</sup> ODS 14.1 indicador de la contaminación por nutrientes

tratamiento de las aguas residuales urbanas y la Directiva sobre los nitratos (que juntas abordan el problema de la eutrofización) sólo abordan los nitratos entre los nutrientes preocupantes.

Las formas de N y P controladas por los países son diversas, lo que también se observó en los datos de calidad del agua presentados por SOCAR. Se trata de amoníaco, nitrito, nitrato, nitrógeno Kjeldahl, nitrógeno total, fosfato, ortofosfato, fósforo total, DIN, DIP y silicato. Esta heterogeneidad en los indicadores controlados, así como en los protocolos de muestreo y de laboratorio, supondrá un reto para la definición de normas y criterios regionales para el vertido de nutrientes en el medio marino de la ROC y para la calidad del agua. Otros indicadores relevantes controlados por los países son el OD, el Chl-a y la turbidez (según los datos presentados para SOCAR).

Entre los países de habla hispana, sólo Cuba ha establecido criterios de calidad (buena, dudosa o mala) para los sedimentos de las aguas utilizadas para la pesca, que incluyen el nitrógeno orgánico con concentraciones definidas explícitamente para dichos criterios.

Para gestionar eficazmente la contaminación marina a nivel local, nacional o regional, es necesario contar con normas de calidad del agua que tengan una base científica que vincule los límites de los vertidos en tierra con las normas de calidad del agua marina, y que sean relevantes para los umbrales ecológicos de los ecosistemas marinos receptores (Tosic et al., 2019 y sus referencias). Se han desarrollado varios métodos con base científica para vincular los objetivos de calidad del agua para los vertidos terrestres y las aguas marinas. Tosic et al. (2019) demostraron un método práctico para establecer objetivos de calidad del agua costera a escala local para las cargas de sedimentos suspendidos al final del río con el fin de mitigar la turbidez de los arrecifes de coral en alta mar, y aplicaron este enfoque a la Bahía de Cartagena, Colombia. Los autores consideraron que este enfoque es apropiado para la gestión ambiental a escala local en países que aún están desarrollando sus políticas de calidad del agua.

### ***Aplicación de la ley***

Las políticas en materia de nutrientes pueden beneficiarse de una combinación de enfoques voluntarios, enfoques económicos y reglamentos, reconociendo la diversa estructura dentro y entre los sectores de las fuentes de nutrientes y entre las regiones (Sutton et al., 2013). Muchos de los países/territorios de habla inglesa y francesa se basan en mecanismos de mando y control, como los permisos de vertido, para regular la contaminación por nutrientes. El enfoque de mando y control se basa en el desarrollo de normas adecuadas y criterios de calidad del agua que deben cumplir los contaminadores. Este requisito se consagra en la legislación, y cada país genera su propio conjunto de reglamentos para aplicar la ley. Entre las normativas más comunes se encuentra la de exigir a la industria la obtención de permisos para las emisiones contaminantes, así como el autocontrol y la elaboración de informes periódicos. Por ejemplo, en los 12 estados implicados en el HTF del Golfo de México de Estados Unidos, el 86% de las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen permisos que exigen la monitorización del N o el P, un aumento del 15% en comparación con 2014 (US EPA, 2019).

Los enfoques basados en el mercado, como el comercio de calidad del agua, son otras estrategias que podrían utilizarse para promover el cumplimiento. El comercio de calidad del agua permite que una instalación permitida o una fuente puntual intercambien créditos de calidad del agua con otra fuente puntual o con una fuente no puntual. La EPA de EE.UU. cuenta con un amplio marco de enfoques basados en el mercado para mejorar la calidad del agua en el marco de la Ley de Agua Limpia. Esta política

promueve la adopción de programas basados en el mercado para incentivar la aplicación de tecnologías y prácticas para reducir la contaminación de fuentes no puntuales.

En los países de la Región del Gran Caribe, incluso cuando existen reglamentos y normas apropiados, la aplicación de los reglamentos es a menudo inadecuada debido a una combinación de factores que incluyen una capacidad humana y recursos financieros limitados.

### 4.3 SEGUIMIENTO

Los programas de control que se analizan en este capítulo se refieren principalmente a programas gestionados por entidades gubernamentales, a menos que se indique lo contrario. La información disponible se centra en el control de la calidad del agua y de los efluentes. A escala regional, alrededor del 51% de los países/territorios realizan un seguimiento de la calidad del agua costera que incluye los nutrientes. De los 20 países/territorios de los que se disponía de conjuntos de datos para SOCAR, sólo 20 cubrían alguna forma de nutrientes, pero sólo fue posible realizar estimaciones de DIN y DIP en 7 países/territorios porque las formas de N y P supervisadas por los demás no permitían estimar el DIN y el DIP. Además, en la mayoría de los casos, el seguimiento es esporádico, con lagunas espaciales y temporales. En el caso de SOCAR, se disponía de series temporales (limitadas) de datos sobre la calidad del agua procedentes de Colombia, México, Puerto Rico, las Islas Vírgenes estadounidenses y los territorios franceses.

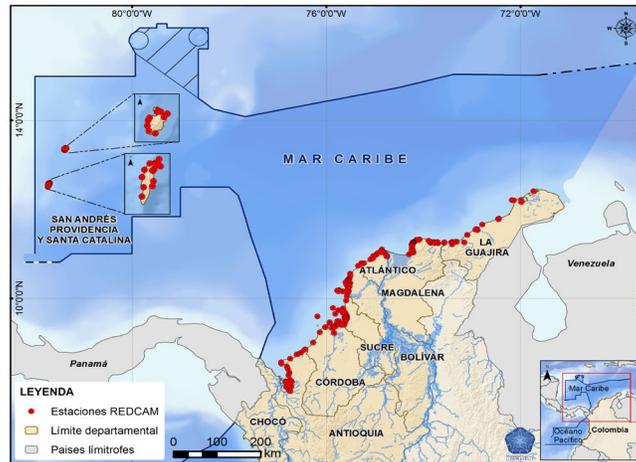
En la región amazónica brasileña, no existe un seguimiento sistemático de la calidad del agua en las fuentes superficiales y en las aguas subterráneas. En Surinam, el seguimiento de la calidad del agua se realiza principalmente en los ríos. Entre los países/territorios que cuentan con un programa regular y exhaustivo de seguimiento de la calidad del agua costera que incluye parámetros de nutrientes se encuentran Antigua y Barbuda, Colombia, Cuba, República Dominicana, Jamaica, México, Trinidad y Tobago, EE.UU., Puerto Rico y los territorios franceses (según los informes subregionales y los datos presentados por los países para SOCAR). Ejemplos de programas de seguimiento exhaustivos que pueden considerarse mejores prácticas son los de Colombia (cuadro 4.2), Cuba, México y EE.UU.. Este último (EE.UU.) incluye cruceros de investigación para controlar la concentración de oxígeno en el fondo de la plataforma continental de Luisiana-Texas (<https://gulphyhypoxia.net>). Además, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU. (NOAA) emite previsiones semanales (y dos veces por semana durante un evento de FAN) para el norte del Golfo de México y la costa este de Florida cuando las condiciones se vuelven favorables para las FAN de la especie de marea roja *Karenia brevis* (normalmente en agosto). Los datos procedentes de la vigilancia por satélite de parámetros medioambientales como la cubierta terrestre, la temperatura de la superficie del mar, el nivel del mar y el color/clorofila del océano están disponibles en diversas fuentes, como la NOAA, la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de EE.UU. y el Portal de Datos Oceánicos del Intercambio Internacional de Datos e Información Oceanográficos (IODE) de la COI y la UNESCO, entre otras.

La información sobre Sargazo en el Atlántico tropical se proporciona en el Centro de Información sobre Sargazo, del que forma parte la Subcomisión de la COI para el Caribe y Regiones Adyacentes (IOCARIBE) (<https://sargassumhub.org/>). Un sistema de alerta temprana del sargazo que utiliza la teledetección por satélite es el Sistema de Vigilancia del Sargazo de la Universidad del Sur de Florida, que publica el Boletín de Perspectivas del Sargazo (<https://optics.marine.usf.edu/projects/saws.html>). El Centro de Gestión de Recursos y Estudios Medioambientales de la Universidad de las Indias Occidentales (UWI CERMES) publica el Boletín de Perspectivas del Sargazo Subregional para el Caribe Oriental. Países como México, Colombia,

Costa Rica y EE.UU. cuentan con avanzados sistemas de información geográfica para el seguimiento del sargazo.

#### Cuadro 4.2. Red de vigilancia de Colombia

La REDCAM "Red de Vigilancia para la Conservación y Protección de las Aguas Marinas y Costeras de Colombia", que coordina el INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras), es una herramienta de gestión que lleva 20 años monitoreando la calidad de las aguas superficiales, a través de una exitosa coordinación interinstitucional con entidades nacionales y regionales comprometidas con la prevención, el control y la vigilancia de la contaminación marina. El programa consta de 223 estaciones de muestreo en sitios de importancia económica y ambiental (ver mapa), con muestreos realizados dos veces al año.



Los parámetros monitoreados incluyen el N y el P, además de los inventarios de las principales fuentes de contaminación marina antropogénica, la estimación de los vertidos de aguas residuales y las cargas contaminantes de los principales ríos que descargan en la costa colombiana. Los datos del monitoreo se almacenan en un sistema de información ambiental marina en línea (<https://siam.invemar.org.co/>), que se actualiza periódicamente y al que tienen acceso el público en general y otras personas. Los informes técnicos de la REDCAM se publican anualmente, el último para 2019 (INVEMAR 2020). Los informes están disponibles en: <http://www.invemar.org.co/redcam>

Para más información : <http://www.invemar.org.co/inf-redcam>; <http://siam.invemar.org.co/redcam>

Algunos programas de control de la calidad del agua en playas, puertos deportivos u otras zonas costeras de interés turístico son financiados por el sector privado, ONG, proyectos internacionales o por organismos de cooperación internacional, especialmente de países desarrollados. El diseño de estos programas de vigilancia varía según el uso de la zona y los objetivos y/o la duración del proyecto. Varios países cuentan con programas de seguimiento de las certificaciones de las playas que incluyen el seguimiento de la calidad del agua en sus procedimientos. Aunque los nutrientes suelen estar contemplados en estos programas de vigilancia, no son indicadores prioritarios como los bacteriológicos, ya que muy a menudo la atención se centra en la calidad del agua para uso recreativo.

En el marco de los proyectos regionales y subregionales financiados por donantes, por ejemplo, el proyecto IWEco del FMAM, se realiza un seguimiento limitado (<https://www.unenvironment.org/cep/gef-iweco>) y el Proyecto FMAM "Programa de Acción Estratégica del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México" (<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/implementacion-del-programa-de-accion-estrategico-del-gran-ecosistema-marino-del-golfo-de-mexico>).

En cuanto al control de los efluentes, cerca del 59% de los países/territorios controlan los nutrientes en los efluentes domésticos, mientras que el 57% controla los efluentes industriales. En el caso de los países/territorios de habla inglesa y francesa, el 64% de los encuestados indicaron que se realizaba un seguimiento de la contaminación difusa, pero no de forma regular. En la Tabla 4.3 se muestra una instantánea del control en los países y territorios de habla inglesa y francesa. Un número significativo de encuestados en estos países y territorios indicaron que la falta de seguimiento sostenido era la primera o segunda preocupación prioritaria.

**Tabla 4.3 Resumen de los parámetros y matrices que se controlan para detectar la contaminación por nutrientes en los 12 países/territorios anglófonos y francófonos que respondieron (Los valores son porcentajes. NR: sin respuesta) (IMA, 2020).**

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
<b>Nitrógeno total</b>	33	33	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	67	17	17
<b>Fósforo total</b>	42	25	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	58	25	17
<b>Sílice</b>	8	58	0 <sup>1</sup>	0	78	0 <sup>2</sup>	17	42	0 <sup>3</sup>	17	58	0 <sup>4</sup>	17	50	0 <sup>5</sup>
<b>Clorofila-a</b>	8	58	0 <sup>1</sup>	No se aplica			33	25	0 <sup>3</sup>	0	8	0 <sup>4</sup>	33	42	0 <sup>5</sup>
<b>Coliformes fecales</b>	58	25	17	50	17	8	42	25	33	58	17	25	67	17	17
<i>Enterococos</i>	25	50	25	25	42	8	33	33	33	33	42	25	58	25	17
<i>E. coli</i>	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% 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 supervisión de la sílice.  
3 En el caso de las aguas superficiales, el 42% restante de los encuestados no estaba seguro de si se controlaban la sílice y la clorofila-a en su país/territorio.  
4 En el caso de las aguas subterráneas, el 25% de los encuestados no estaba seguro de que se controlara la sílice, y el 92% de que se controlara la clorofila.  
5 En el caso de las aguas costeras/marinas, el 33% de los encuestados no estaba seguro de la vigilancia de la sílice y el 25% de la vigilancia de la clorofila-a.

Como se indica en la Tabla 4.3, existe una considerable variabilidad en el esfuerzo de seguimiento de diversos parámetros entre los países/territorios. Los parámetros más controlados (>50%) fueron los coliformes fecales en todos los medios, y el N y el P totales en las aguas subterráneas y el medio costero/marino. Ninguno de los parámetros en ningún medio fue controlado por más del 70% de los encuestados. Las aguas superficiales fueron uno de los medios menos controlados, mientras que la sílice y el Chl-a fueron los parámetros menos controlados. Los encuestados indicaron que las fuentes puntuales (efluentes industriales) se controlaban más estrechamente, mientras que el control del medio ambiente era generalmente intermitente y solía producirse cuando había un incidente que justificaba la investigación.

En algunos de los países, múltiples organismos llevan a cabo la vigilancia de diferentes parámetros y medios. Esto crea desafíos en la coordinación y la mensajería y reduce la rentabilidad. Un enfoque unificado es el utilizado por el Grupo de Trabajo sobre Hipoxia del Mississippi/Golfo de México de EE.UU., que desarrolló una Estrategia de Seguimiento, Modelización e Investigación (Río Mississippi/Cuenca del Golfo de México y Grupo de Trabajo en Nutrientes, 2004). La estrategia describe qué datos científicos se necesitan para fundamentar las decisiones de gestión de la contaminación por nutrientes, define qué actividades se requieren para proporcionar la información necesaria y cómo debe comunicarse esta

información. La coordinación y armonización de la vigilancia y el intercambio de datos será una consideración importante para la región.

### **Parámetros socioeconómicos**

Los datos sobre los parámetros socioeconómicos relevantes están generalmente disponibles en los países y a través de bases de datos e informes internacionales. Véase el capítulo 3 de SOCAR y los capítulos 3 y 5 de este informe para conocer algunos de los parámetros clave y las fuentes de datos. Entre los parámetros de los que se dispone de datos figuran la población y la demografía, la urbanización, el suministro de agua y el saneamiento y otros parámetros de desarrollo humano, la contribución al PIB por sectores económicos, las importaciones anuales de fertilizantes y el uso de la tierra. Por otro lado, los impactos socioeconómicos de la contaminación por nutrientes no se supervisan ni se cuantifican de forma rutinaria en los países. Entre los ejemplos donde sucede esto se encuentran los Estados Unidos, donde se estima el coste económico de las FAN/mareas rojas; y el Centro de Epidemiología del Caribe (ahora CARPHA) /Organización Panamericana de la Salud registra la incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua, incluida la intoxicación por ciguatera (de forma intermitente). La base de datos COI-UNESCO sobre episodios de algas nocivas (<http://haedat.iode.org/>) incluye datos sobre la incidencia de enfermedades relacionadas con las FAN y la ciguatera a nivel nacional (hasta la fecha sólo para 12 países de la Región del Caribe). Dado que el problema del sargazo ocupa un lugar destacado en la agenda nacional y regional, cada vez se dispone de más información sobre sus impactos, incluidos los costes de limpieza y los riesgos para la salud humana, aunque de forma esporádica. No se dispone de datos e información completos y actualizados sobre los costes e impactos socioeconómicos de la contaminación por nutrientes a nivel nacional ni regional. Se trata de una laguna crítica, ya que los datos e información socioeconómicos son esenciales para la concienciación y la toma de decisiones sobre la gestión de la contaminación por nutrientes.

## **4.4 CAPACIDAD TÉCNICA Y DE LABORATORIO**

Alrededor del 59% de los países/territorios disponen de laboratorios de análisis medioambiental. Esta proporción es mayor a nivel subregional. Por ejemplo, el 73 por ciento de los países y territorios de habla inglesa y francesa cuentan con laboratorios y desarrollo de la capacidad humana y el 64 por ciento con formación sobre muestreo y evaluación sobre el terreno. Sin embargo, sólo el 55 por ciento de los encuestados indicó que existían laboratorios acreditados con procedimientos operativos estándar en sus respectivos países/territorios. Siete de los nueve países de habla hispana cuentan con laboratorios ambientales (las excepciones son Guatemala y Honduras). Entre los países NBSLME, Brasil, Guyana y Venezuela cuentan con capacidad de laboratorio analítico dentro de los organismos gubernamentales y/o de otros organismos. En los casos en los que falta esta capacidad, los servicios técnicos necesarios se subcontratan.

A nivel regional, el Laboratorio de Salud Ambiental de CARPHA, acreditado según la norma ISO 17025 por la Asociación Canadiense de Acreditación de Laboratorios, es un laboratorio microbiológico y analítico de servicio completo que proporciona análisis ambientales, incluyendo el monitoreo de la calidad del agua y otros servicios.

## **4.5 DISPONIBILIDAD DE DATOS E INFORMACIÓN**

Como mínimo, la mayoría de los países cuentan con una oficina nacional de estadística encargada de realizar los censos nacionales y almacenar las estadísticas nacionales. Estas oficinas suelen disponer de bases de datos con capacidad de búsqueda y de fácil acceso, lo que las hace idóneas para el almacenamiento de datos e información sobre el medio ambiente. Los datos y la información sobre el medio ambiente y otras áreas temáticas relevantes suelen estar disponibles en las oficinas nacionales de estadística (hasta cierto punto) y en los departamentos gubernamentales con responsabilidad en la gestión medioambiental. Sin embargo, como ocurrió con la preparación de SOCAR, el intercambio de datos e información nacionales considerados "sensibles" por los países puede ser un obstáculo para los esfuerzos regionales. Este es el caso, en particular, de la contaminación por aguas residuales de las aguas costeras en los países que dependen del turismo marino. Por otro lado, varios países mantienen amplias bases de datos medioambientales accesibles en línea y/o proporcionan datos e información en informes técnicos y sobre el estado del medio ambiente (por ejemplo, Colombia, Francia, Estados Unidos). Además, hay datos e información disponibles en instituciones académicas y de investigación, así como (esporádicamente) en publicaciones técnicas e informes de proyectos. En el caso de Brasil, los datos sobre la calidad de las aguas costeras están disponibles en el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística).

Una importante fuente integral de datos e información relacionada específicamente con la gestión de la contaminación por nutrientes es la plataforma en línea GPNM (<http://www.nutrientchallenge.org/>). Otras fuentes de datos regionales y mundiales son el Atlas Marino del Caribe, la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPALSTAT), el Tablero de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la Base de Datos de Eventos de Algas Nocivas de la COI y otras organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales. Sin embargo, la medida en que sus contenidos se relacionan con los nutrientes varía. En la actualidad, no existe un repositorio regional central para los datos medioambientales completos en general y para la contaminación por nutrientes en particular, lo que será necesario para facilitar un enfoque regional de la gestión de la contaminación por nutrientes. Un depósito único y central para todos los datos e información sobre la gestión de nutrientes en la Región del Gran Caribe puede no ser factible, dado el gran número de entidades gubernamentales y no gubernamentales implicadas. Un objetivo más realista puede ser un repositorio central en cada país/territorio, que esté indexado regionalmente (posiblemente el CLME+ Hub, que está diseñado para aprovechar el conocimiento, los recursos y las herramientas para dar cabida a las necesidades de información de las partes interesadas del CLME+; <https://clmeplus.org/>).

#### 4.6 EVALUACIONES

Se trata de la primera evaluación regional del estado de la zona del Convenio de Cartagena. Además, se trata también de la primera evaluación regional de los nutrientes (incluidas las cargas de N y P, la calidad de las aguas costeras y el ICEP) utilizando datos empíricos y resultados modelizados. SOCAR contribuirá al informe regional sobre el estado del medio ambiente marino y las economías asociadas (SOME) para la región del CLME+, que se está preparando en el marco del proyecto CLME+. Además del informe SOME, el Proyecto CLME+ está estableciendo un mecanismo institucional para la evaluación sostenida y la presentación de informes sobre el estado del medio marino de la región y las economías asociadas. Las cargas de nutrientes en las desembocaduras de los ríos y el ICEP para el CLME, el NBSLME y el LME del Golfo de México fueron estimadas por Seitzinger y Mayorga (2016) en el marco del Componente LME del Programa de Evaluación de Aguas Transfronterizas (TWAP) del FMAM/PNUMA ([onsharedocean.org](http://onsharedocean.org)). En el marco del TWAP, también se evaluó la contaminación por nutrientes en los ríos transfronterizos del mundo, así como en los acuíferos subterráneos transfronterizos de los PEID ([www.geftwap.org](http://www.geftwap.org)). Otro informe de evaluación regional es el informe del Banco Mundial sobre la contaminación marina en el

Caribe (Diez et al. 2019), que incluye una descripción de la contaminación por nutrientes en la región basada en información publicada.

Varios de los países de la Región del Caribe llevan a cabo evaluaciones nacionales del estado del medio ambiente/medio ambiente marino, con diferentes grados de cobertura de la contaminación por nutrientes, desde ninguna cobertura hasta una cobertura completa de nutrientes. Ejemplos de esto último son la REDCAM de Colombia y los informes técnicos anuales (Recuadro 4.2), el Informe sobre el estado del medio ambiente marino de Trinidad y Tobago de 2016 y los informes nacionales sobre el estado de las costas de Estados Unidos (<https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/national-coastal-condition-reports>).

En cuanto a la evaluación del indicador de nutrientes del ODS 14.1 (ICEP), entre los países/territorios ingleses y franceses solo Martinica evalúa el ICEP, mientras que ninguno indicó que utiliza la modelización para estimar las cargas de nutrientes. La mayoría de los países no disponen de los datos empíricos ni de la capacidad técnica para estimar el ICEP y para la modelización de las cargas de nutrientes.

#### **4.7 PROYECTOS RELEVANTES**

Entre los países y territorios anglófonos y francófonos, el 54% de los encuestados indicaron que habían ejecutado proyectos de gestión de nutrientes en sus respectivos países, mientras que el 15% indicó que tales proyectos estaban en preparación. El enfoque de estos proyectos va desde problemas específicos de contaminación por nutrientes (Guayana Francesa) hasta soluciones tecnológicas como plantas de tratamiento de aguas residuales (Barbados, Jamaica) y soluciones relacionadas con la política (Trinidad y Tobago). Muchos de estos proyectos cuentan con el apoyo de donantes externos, aunque algunas actividades están cubiertas por los presupuestos nacionales. Entre los proyectos subregionales pertinentes financiados por donantes (finalizados y en curso) en los países participantes se encuentran el CLME+, la Integración de la Gestión de Cuencas Hidrográficas y Zonas Costeras (IWCAM), el Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW), el CReW+, el IWEco, el MAR2R, el programa de Soluciones Acuáticas Terrestres del Caribe y el proyecto "Gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos transfronterizos en la cuenca del río Amazonas teniendo en cuenta el cambio y la variabilidad del clima".

#### **4.8 PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS, DIVULGACIÓN Y PROMOCIÓN**

En los países y territorios de habla inglesa y francesa, sólo el 25% de los encuestados indicaron que llevan a cabo programas sobre la contaminación por nutrientes dirigidos al público en general y a las comunidades vulnerables. La falta de comunicación y la escasa concienciación sobre la contaminación por nutrientes fueron identificadas como primera y/o segunda prioridad por varios países/territorios. Los programas de concienciación pública identificados por los encuestados eran en su mayoría de carácter general y se centraban en la contaminación y las aguas residuales en el medio acuático, más que en la contaminación por nutrientes específicamente. Por otro lado, casi el 60% indicó que había programas dirigidos a industrias o actividades específicas que pueden causar la contaminación por nutrientes. Entre ellos se encuentran los programas dirigidos a los agricultores sobre las mejores prácticas y el uso de productos químicos, incluidos los fertilizantes, y los programas para sensibilizar a los usuarios sobre el impacto de los efluentes de los pozos negros y para ayudar a las comunidades locales a cumplir con las normas relacionadas con las instalaciones de tratamiento de aguas colectivas. El HTF de EE.UU. y los Estados del Golfo de México llevan a cabo amplios programas de participación de las partes interesadas,

de divulgación y de concienciación del público en el marco de sus respectivas estrategias, así como la EPA de EE.UU.

En el informe subregional no se dispone de información sobre las actividades de concienciación, divulgación y promoción de las partes interesadas en los países de habla hispana. Sin embargo, es probable que tales actividades se lleven a cabo en los países, incluso a través de proyectos subregionales y regionales. En la Región del Gran Caribe, muchas actividades relacionadas con la concienciación de las partes interesadas, la divulgación y la defensa del medio ambiente se llevan a cabo a través de proyectos medioambientales financiados por donantes. Estas iniciativas desempeñan un papel importante en la sensibilización de las partes interesadas y el intercambio de información entre los países. Sin embargo, el grado en que estas iniciativas abordan la contaminación por nutrientes varía en función de los objetivos del proyecto.

En cuanto a la participación del sector privado, Fanning y Mahon (2020) descubrieron que el compromiso con el sector privado era generalmente débil entre los países del CLME+, aunque existen iniciativas y programas de este tipo. Por ejemplo, en algunos países, el sector turístico financia programas de control de la calidad del agua en playas, puertos deportivos y otras zonas costeras de interés turístico, y los grandes hoteles disponen de plantas de tratamiento de aguas residuales in situ y tratan y reutilizan las aguas residuales. El "Programa Adopta un Río" de Trinidad y Tobago, que es una iniciativa desarrollada por la Autoridad de Agua y Alcantarillado, pretende facilitar la participación de entidades del sector público y privado en proyectos sostenibles y holísticos destinados a mejorar el estado de los ríos y las cuencas hidrográficas de todo el país. El desarrollo de asociaciones, incluso con el sector privado, es una actividad importante de la EPA de EE.UU. en su programa para abordar la contaminación por nutrientes. Brasil cuenta con un marco institucional y normativo para que el sector privado obtenga mayores incentivos para el saneamiento, y en 2016, 73 empresas privadas y 1.438 empresas públicas representaron la aplicación de políticas públicas de saneamiento en el país (CERI/FGV, 2016). La participación privada en el sector del saneamiento aumentó significativamente de 1998 a 2014, como se observa en la Figura 4.5 (SNIS, 2014).



**Figura 4.5 Inversiones realizadas por empresas privadas en saneamiento en Brasil (miles de millones de \$BRL / año). Fuente: CERI/FGV (2016).**

A la hora de aplicar la estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes, será necesario mejorar el compromiso de las partes interesadas, la divulgación y la promoción. El compromiso con el sector privado, los bancos de desarrollo y otras partes interesadas clave será fundamental para el éxito de la

RNPRSAP. La Plataforma GPNM-Caribe, junto con el Protocolo FTSM del Convenio de Cartagena y los organismos asociados, representan el principal mecanismo regional para reunir a las partes interesadas en la gestión de nutrientes en la Región del Gran Caribe.

#### 4.9 RETOS Y NECESIDADES

A continuación, se resumen los retos y las necesidades de capacidad identificados por los países y territorios (tal y como se analizan en los informes subregionales):

- **Capacidad humana:** Personal de campo (recogida de muestras, seguimiento in situ) para las fuentes de contaminación puntuales y no puntuales; personal de laboratorio (tratamiento y análisis de muestras), incluso en las nuevas técnicas analíticas y para los contaminantes emergentes; recogida y análisis de datos para la toma de decisiones; modelización (carga, transporte y destino de la contaminación por nutrientes; determinación del ICEP, esta última realizada únicamente por Martinica); capacidad de los profesionales y estudiantes universitarios en la gestión de la contaminación por nutrientes.
- **Capacidad institucional:** Escasa capacidad institucional para la aplicación y el funcionamiento de los sistemas de recogida y tratamiento de aguas residuales; falta de capacidad para hacer cumplir las políticas y las medidas reglamentarias.
- **Infraestructura:** Ampliación y/o modernización de los sistemas de recogida y tratamiento de aguas residuales;
- **Política y legislación:** Desarrollo de estrategias de reducción de la contaminación por nutrientes y de planes y políticas de gestión para fuentes puntuales y no puntuales, incluida la gestión integrada de nutrientes en todos los sectores pertinentes y los planes de gestión de cuencas hidrográficas; fortalecimiento de las políticas para abordar los vertidos contaminantes y de la capacidad de mitigación de los impactos en los recursos hídricos.
- **Investigación:** Los temas incluyen cuestiones emergentes y las identificadas en la Agenda de Investigación del CLME+ (Acosta et al., 2020).
- **Laboratorio y otros servicios técnicos:** Acreditación de los laboratorios e inversión asociada en formación e infraestructura; modernización de los equipos de laboratorio; adquisición de reactivos y herramientas; y disponibilidad local de servicios de mantenimiento y reparación de los equipos de laboratorio; equipos para recoger, procesar y analizar muestras, y procesamiento y almacenamiento de datos necesarios.
- **Vigilancia e intercambio de datos:** Seguimiento de la calidad del agua de los nutrientes (incluido el Si) en las aguas costeras; seguimiento de los ecosistemas costeros y marinos (manglares, pastos marinos, playas y arrecifes de coral); participación de otros agentes en el seguimiento, incluidas las comunidades locales (ciencia ciudadana); mejora de la conexión con las redes regionales de seguimiento y del acceso a la información; mayor colaboración y puesta en común de la información entre las partes interesadas; problemas de sensibilidad de los datos; y falta de sistemas de información adecuados.
- **Financiación:** Financiación e inversiones sostenibles para el control y la gestión de la contaminación por nutrientes, incluidas las infraestructuras, los sistemas de tratamiento y el seguimiento.
- **Educación y concienciación:** Formación de los agricultores en la gestión de los nutrientes; concienciación de las partes interesadas sobre la contaminación por nutrientes, incluida la concienciación entre sectores.

Las prioridades a nivel regional y nacional también se dan en las Actas de la Segunda Reunión de Planificación Regional de la Plataforma del Caribe para la Gestión de Nutrientes (febrero de 2016) en términos de las áreas de trabajo clave de la GPNM: Generación de conocimientos (evaluación y monitoreo); Servicios técnicos (Mejores prácticas - agricultura; gestión de aguas residuales; Gobernanza y política; y Divulgación y promoción).

La lista anterior abarca una amplia gama de necesidades que deben abordarse para reducir eficazmente la contaminación por nutrientes. Sin embargo, esta lista no es exhaustiva y, a medida que los países desarrollen sus respectivos planes de acción para la reducción de la contaminación por nutrientes, será necesario realizar una evaluación exhaustiva de las prioridades, los retos y las necesidades de capacidad de cada país.

#### 4.10 OPORTUNIDADES POTENCIALES

Existen importantes oportunidades para reducir la contaminación por nutrientes y, al mismo tiempo, contribuir al bienestar humano (oportunidades para obtener resultados "beneficiosos"). Si se hace un mejor uso de los nutrientes, incluida la reducción de las pérdidas y los residuos, se reducirán las amenazas de contaminación, al tiempo que se mejorará la producción de alimentos y energía y se contribuirá significativamente al desarrollo de "economías verdes" (Sutton et al., 2013). En muchos casos, la mejora de la eficiencia en el uso de los nutrientes conllevará automáticamente beneficios económicos, alimentarios y de seguridad energética inmediatos. El énfasis en la eficiencia del uso de los nutrientes pone de manifiesto que el N, el P y otros nutrientes son un recurso valioso. Hacer un mejor uso de este recurso con un mejor reciclaje ofrece muchas oportunidades de ahorro, como la reducción del gasto en fertilizantes comprados y el desarrollo de mercados para nuevos productos fertilizantes, por ejemplo, a partir de flujos de nutrientes reciclados y la captura de NOx de fuentes de combustión.

Las aguas residuales domésticas son un recurso importante para la recuperación de agua, nutrientes y energía. El reciclaje y la reutilización de los residuos sanitarios tienen un gran potencial para beneficiar a los sectores del agua, la agricultura y la energía en la RGC (Qadir et al., 2020). La región de América Latina y el Caribe produce aguas residuales domésticas a una tasa estimada de 65 m<sup>3</sup>/cápita/año, de las que es posible recuperar una cantidad significativa de nutrientes (Qadir et al., 2020). Además, las aguas residuales tratadas pueden utilizarse para distintos fines, como el riego agrícola, la acuicultura, la refrigeración industrial y las aplicaciones de baja calidad. Un estudio realizado en el Caribe Oriental reveló que la reutilización de las aguas residuales puede satisfacer hasta el 38% de las necesidades totales de agua en la subregión (Peters, 2015). Otra oportunidad se presenta con el uso de bacterias fijadoras de nitrógeno (rizobios), que se utilizan, por ejemplo, en la producción de soja en Brasil, donde las bacterias se inoculan en el suelo antes de la siembra, reduciendo así el uso de fertilizantes inorgánicos.

Otras oportunidades para desarrollar la "economía de los nutrientes verdes" son la ampliación de las tecnologías existentes y el desarrollo de otras nuevas que mejoren la gestión de los recursos de nutrientes y la contaminación de los mismos. También pueden existir oportunidades con respecto a las reformas institucionales y políticas, la financiación sostenible, la participación de las partes interesadas y las asociaciones público-privadas, entre otras. A la hora de aplicar la estrategia regional de reducción de la contaminación por nutrientes, deben identificarse y evaluarse las posibles oportunidades para su desarrollo en función de las circunstancias existentes a nivel nacional y regional. Los proyectos e iniciativas en curso, como IWeco, CReW+ y GPNM/GPNM-Caribe, pueden contribuir potencialmente a la identificación y desarrollo de oportunidades para obtener resultados beneficiosos para todos.

## 4.11 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que la Región del Gran Caribe tiene muchos puntos fuertes a nivel nacional, subregional y regional que sustentan la estrategia propuesta para abordar la contaminación por nutrientes en la zona del Convenio de Cartagena. El Convenio de Cartagena y el Protocolo FTCM proporcionan un sólido marco político regional, que es esencial para el éxito de la aplicación de la estrategia regional. Sin embargo, es necesario aumentar la ratificación por parte de los países de la Región del Gran Caribe y reflejar los nutrientes de forma más explícita en los anexos.

A nivel nacional, si bien se han establecido diversos mecanismos e instrumentos de gobernanza (instituciones, políticas, legislación, etc.) para la gestión del medio ambiente, incluida la contaminación, pocos de ellos se centran específicamente en los nutrientes. Además, en general, el enfoque para abordar la contaminación ha sido sectorial y se ha centrado en los problemas de "final de tubería". La falta de una política nacional global para la gestión integrada en todos los sectores fue identificada como una preocupación prioritaria por muchos de los países de la Región del Gran Caribe.

Una estrategia y un plan de acción globales para la reducción de la contaminación por nutrientes que adopten un enfoque integrado de la cuenca hidrográfica y que incorporen a todos los sectores y partes interesadas pertinentes es un imperativo, habida cuenta de la naturaleza polifacética de la contaminación por nutrientes y de que las causas y las presiones asociadas a la contaminación por nutrientes van en aumento. En los informes subregionales elaborados para esta estrategia y en otros lugares se ha identificado una serie de retos y obstáculos para la gestión eficaz de la contaminación por nutrientes a nivel nacional y regional. Abordar estos retos y barreras, entre otros, contribuirá a establecer las condiciones necesarias para el éxito de la estrategia regional. El capítulo 5 presenta el proyecto de estrategia, que se centra en nueve pilares y en los objetivos y metas asociados. Uno de los objetivos es "Establecer condiciones propicias para abordar la contaminación por nutrientes y sus impactos en la Región del Gran Caribe" (Objetivo 9.1). Las metas del Objetivo 9.1. pretenden abordar los principales retos y barreras a diferentes niveles (del nacional al regional), creando o reforzando así las condiciones propicias para aplicar la estrategia y las acciones propuestas a la escala adecuada.

## 5 ESTRATEGIA Y PLAN DE ACCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES EN LA REGIÓN DEL CARIBE (2021-2030)

### 5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta la estrategia y el plan de acción regional de reducción de la contaminación por nutrientes (RNPRSAP) para la Región del Gran Caribe (RGC), que abarca los Grandes Ecosistemas Marinos del Golfo de México, el Caribe y la Plataforma del Norte de Brasil (GOMLME, CLME y NBSLME, respectivamente), como se ilustra en la Figura 1.1. Se apoya en los capítulos 1 a 4, que proporcionan los antecedentes y la base científica de la estrategia. Como se discute en el Informe sobre el Estado de la Zona del Convenio (SOCAR) / (PNUMA-PAC, 2019) y en el Capítulo 2 de este informe, las principales fuentes de cargas excesivas de nutrientes en las aguas costeras son las fuentes y actividades terrestres, principalmente la agricultura (cultivos y ganado) y las aguas residuales domésticas no tratadas, así como las fuentes marinas, principalmente el turismo de crucero y la navegación comercial. El RNPRSAP se centra en estas fuentes y actividades, en consonancia con el mandato del Convenio de Cartagena para la Protección del Medio Marino de la Región del Gran Caribe y su Protocolo sobre Fuentes Terrestres de

Contaminación Marina (Protocolo FTSM). Sin embargo, se reconoce que otras fuentes y actividades contribuyen a la contaminación por nutrientes del medio marino (como la energía y el transporte).

Una consideración importante a la hora de elaborar el RNRSAP es el equilibrio entre la protección medioambiental de las aguas marinas y el desarrollo socioeconómico en las zonas situadas aguas arriba, donde se origina en gran medida el problema de la contaminación por nutrientes. Esta consideración es especialmente relevante para el sector agrícola, que es el que más contribuye a aumentar los flujos de nutrientes hacia los sistemas acuáticos (capítulo 2). Unos nutrientes adecuados son esenciales para que la producción agrícola de alimentos pueda alimentar a una población creciente. Además, la contribución de la agricultura a la seguridad alimentaria, los medios de vida y la reducción de la pobreza en la región es enorme. Sin embargo, el uso excesivo e inadecuado de fertilizantes nitrogenados provoca la pérdida de cantidades significativas de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el medio ambiente. Como se muestra en el capítulo 2, casi el 40% de los fertilizantes aplicados en los países de la Región del Gran Caribe se desperdicia, lo que supone una amenaza para el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero (Lassaletta et al., 2014). Por otra parte, en ciertas regiones, incluidas partes de América Latina, algunos agricultores no utilizan suficientes nutrientes, con lo que la extracción de nutrientes degrada el suelo y limita el rendimiento de los cultivos. Por lo tanto, la mejora de la eficiencia en el uso de los nutrientes y la gestión de los mismos (en los sectores de la agricultura y las aguas residuales) es fundamental para la estrategia, y es un enfoque en el que todos salen ganando y en el que se pueden generar múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos.

Además del Convenio de Cartagena y el Protocolo FTSM, el desarrollo de la estrategia se guía por los resultados de la Cuarta Reunión del Comité Científico, Técnico y Asesor (STAC) del Protocolo FTSM (Ciudad de Panamá, Panamá, 18-20 de julio de 2018), por las iniciativas globales, incluyendo el proyecto de Ciclo Global de Nutrientes (GNC) del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (FMAM) y la Plataforma Global de Gestión de Nutrientes (GPNM), así como por las estrategias de reducción de la contaminación por nutrientes de los Estados del Golfo de México de Estados Unidos.

La estrategia se basa en nueve pilares, cada uno con sus correspondientes objetivos, metas e indicadores. Los pilares 1 a 8 abarcan todo el espectro del desafío de los nutrientes, desde las principales fuentes puntuales y no puntuales hasta los impactos en las aguas costeras y las consecuencias socioeconómicas de la contaminación por nutrientes del medio marino. El pilar 9 aborda las condiciones propicias necesarias para la aplicación del PNRSAP de la RGC. Además, se describen una propuesta de marco institucional y un marco de acción para la aplicación de la estrategia a nivel regional y nacional. Por último, se presenta un marco de seguimiento y evaluación y un compendio de estrategias y mejores prácticas de gestión para abordar la contaminación por nutrientes en su origen y minimizar sus impactos.

## **5.2 META, OBJETIVOS Y PRINCIPIOS RECTORES**

### **5.2.1 Meta**

Establecer un marco de colaboración para la reducción progresiva de los impactos del exceso de carga de nutrientes en los ecosistemas costeros y marinos prioritarios de la Región del Gran Caribe.

### **5.2.2 Objetivos generales**

1. Ayudar a definir las normas y criterios regionales para los vertidos de nutrientes, incluidos los indicadores regionales para el seguimiento de dichos vertidos en el medio costero y marino;
2. Apoyar las reformas institucionales, políticas y legales relacionadas con la gestión de nutrientes y sedimentos, incluyendo el apoyo a las intervenciones integradas de alta prioridad para reducir los vertidos de aguas residuales no tratadas, nutrientes y sedimentos, y promover la recuperación de nutrientes de las aguas residuales;
3. Contribuir a los compromisos regionales y mundiales pertinentes, incluida la Resolución 4/14 de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA) sobre la gestión sostenible del nitrógeno, las Resoluciones de la UNEA sobre la contaminación marina, el Convenio de Cartagena para la protección del medio marino de la región del Gran Caribe y su Protocolo sobre fuentes terrestres de contaminación marina, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 y 14;
4. Contribuir a la puesta en marcha de la Plataforma del Caribe para la Gestión de Nutrientes bajo los auspicios de la GPNM;
5. Contribuir a la campaña mundial de las Naciones Unidas sobre la gestión sostenible del nitrógeno.

Los objetivos específicos del RNPSAP figuran en el anexo 5.1.

### 5.2.3 Principios rectores

El PNRSAP de la RGC se basa en los siguientes principios rectores:

1. Enfoque basado en la ciencia, utilizando la mejor ciencia, datos e información disponibles, e incorporando el conocimiento local/tradicional;
2. Construir sobre la base existente establecida por las iniciativas regionales y globales;
3. Un enfoque integrado de la cresta al arrecife que tenga en cuenta las fuentes de nutrientes en las cuencas hidrográficas y su impacto en las aguas costeras, así como la heterogeneidad entre los países y territorios de la Región del Gran Caribe en términos de características biogeofísicas y sectores que contribuyen a la contaminación por nutrientes;
4. Equilibrar los imperativos ecológicos, sociales y económicos en la toma de decisiones a lo largo de todo el proceso aguas arriba - aguas abajo;
5. Alineación de los objetivos y metas con las políticas, marcos y metas nacionales, regionales y mundiales pertinentes para lograr múltiples beneficios;
6. Acciones estratégicas y preventivas en origen que sean viables y rentables;
7. Participación de todas las partes interesadas clave, incluido el sector privado, en un marco de gobernanza multiescalar que abarque todas las fases del ciclo político;
8. Gestión adaptativa basada en procesos sólidos de seguimiento y evaluación.

### 5.2.4 Público objetivo

El público objetivo del RNPSAP incluye una amplia gama de partes interesadas, desde las globales hasta las regionales/subregionales y las nacionales/locales:

- Partes en el Convenio de Cartagena y en el Protocolo FTCM	- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); otras
---	---

	organizaciones de las Naciones Unidas y organizaciones intergubernamentales (OIG)
- Otros gobiernos de la Región del Gran Caribe	- Agencias donantes
- Programas de mares regionales	- Sector privado, incluidos los agricultores (a gran y pequeña escala)
- Agrupaciones políticas subregionales: Comunidad del Caribe (CARICOM), Organización de Estados del Caribe Oriental (OECS), Sistema de Integración Centroamericana/Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo (SICA/CCAD)	- Organizaciones no gubernamentales (ONG)
- Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA)	- Público en general y comunidades locales
- Instituciones académicas y de investigación	

La composición del público objetivo representa los principales elementos de un marco de gobernanza a escala múltiple que se requiere para abordar el reto de los nutrientes en la Región del Gran Caribe. Las funciones específicas de las principales partes interesadas en la aplicación del RNPRSAP se indican en el marco de aplicación de la sección 5.6.

### 5.2.5 Enfoque propuesto

El PNRSAP de la Región del Caribe se basa en un enfoque integrado que examina las fuentes terrestres y marinas, los flujos y los impactos de la contaminación por nutrientes en las aguas costeras. Proporciona una base integrada para explorar formas estratégicas de reducir las cantidades excesivas de nutrientes en los sistemas acuáticos, incluidas las zonas costeras. El enfoque de la cuenca hidrográfica es integrador, ya que reconoce las conexiones entre las zonas aguas arriba y aguas abajo, y entre las aguas terrestres, las aguas dulces (superficiales y subterráneas) y las aguas marinas costeras, tanto superficiales como sub-superficiales (Figura 2.1, Capítulo 2). Y lo que es más importante, permite evaluar los impactos de una medida de mitigación potencial, no sólo en un punto concreto. Con este enfoque, las medidas de mitigación suelen examinarse en función de sus impactos a lo largo de toda la cuenca hidrográfica y el tramo de la corriente asociada y la red fluvial de ecosistemas acuáticos desde la cabecera hasta las aguas costeras receptoras y, a veces, incluso más allá de las fronteras del país o de las zonas económicas exclusivas (ZEE).

Este enfoque tiene en cuenta todas las fuentes principales de nutrientes y los procesos que promueven su pérdida en el medio natural y su transporte a lo largo de todo el continuo desde la tierra hasta los sistemas de agua dulce y su eventual deposición en las aguas costeras (Figura 5.2.1). Así, el RNPRSAP considera la cuenca hidrográfica como unidad geográfica de gestión en el lado terrestre, e incorpora también las principales fuentes marinas de contaminación por nutrientes procedentes de sectores como el turismo de cruceros y el transporte marítimo. Este enfoque considera las cuencas individuales de los países más grandes (países continentales e islas grandes), mientras que toda la masa terrestre de las islas pequeñas se considera la cuenca.

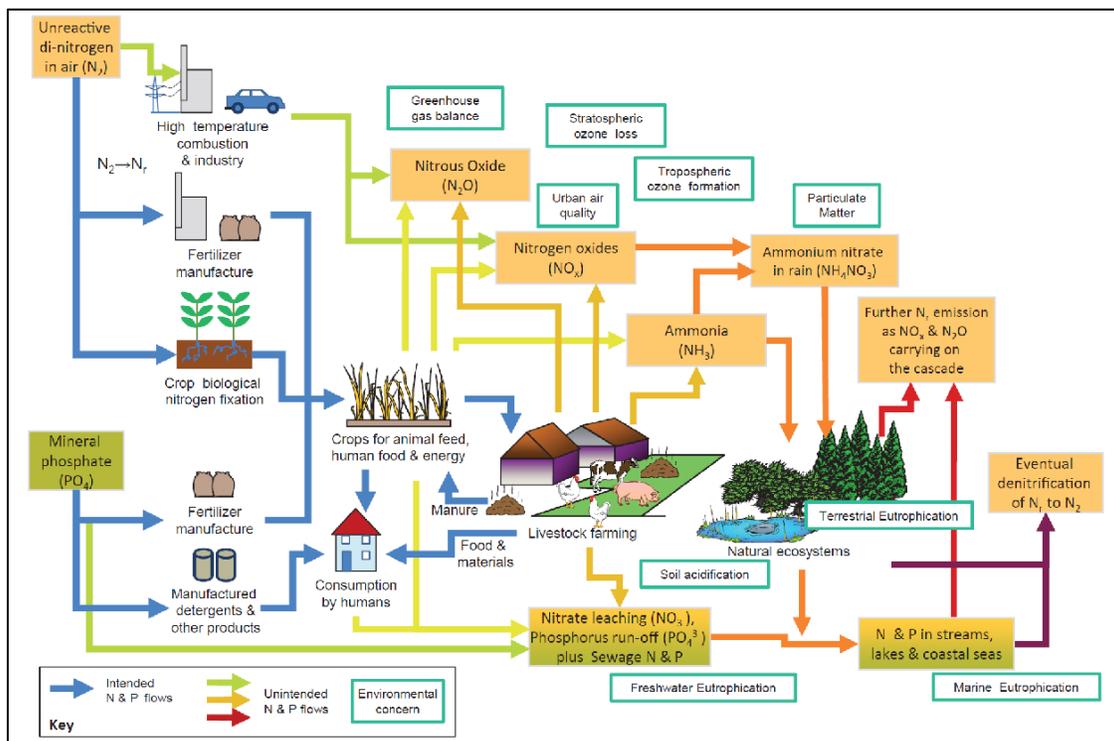


Figura 5.1 Visión general simplificada de los flujos de nitrógeno (N) y fósforo (P) que destaca las principales fuentes antropogénicas actuales, la cascada de formas de nitrógeno reactivo (Nr) y las preocupaciones ambientales asociadas (Sutton et al., 2013). Nota: este gráfico no incluye las fuentes marinas de contaminación por nutrientes.

### 5.3 FUENTES DE NUTRIENTES, CARGAS E IMPACTOS

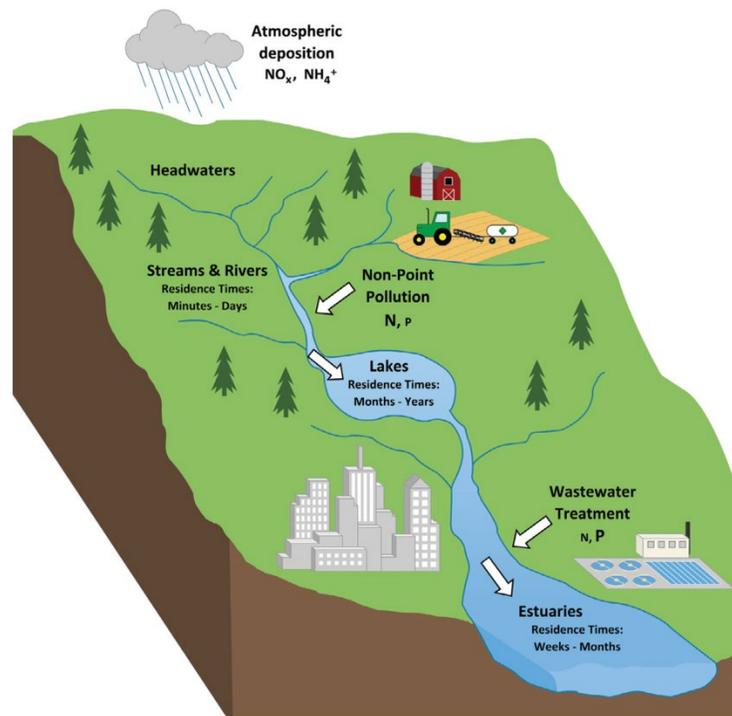
En esta sección se presentan los principales resultados sobre las fuentes de contaminación por nutrientes y los impactos que éstas han creado en las personas y los ecosistemas que se analizaron con amplio detalle en los capítulos 2 y 3 de este documento.

#### 5.3.1 Métodos

La unidad de cuenca hidrográfica como escala de análisis. Una cuenca hidrográfica (también llamada cuenca de drenaje o de captación) se define como un área de tierra que drena todos los arroyos y las precipitaciones hacia una salida común, como la desembocadura de una bahía o cualquier punto a lo largo del canal de un arroyo (Figura 5.2). Todas las extensiones de tierra del planeta Tierra forman parte de una unidad de cuenca hidrográfica. A escala planetaria y en todos los casos, salvo en unos pocos, el agua sale a las costas a través de los ríos cuando éstos son sistemas de cuencas exorreicas, como son la mayoría de los de la RGC. Las cuencas endorreicas son aquellas que no desaguan en el mar sino en lagos o pantanos, como las cuencas transfronterizas como la Depresión de Cul-de-Sac y el Lago Enriquillo, ambas en La Española. Este informe se centra en las cuencas exorreicas de la región.

En consonancia con una evaluación completa del continuo del agua, este informe incluye las fuentes marinas de contaminación por nutrientes. Aunque las fuentes puntuales de origen marino, como las instalaciones petrolíferas, los vertidos de buques mercantes y de cruceros y los yates, siguen siendo

lagunas de datos sin cuantificar, se presenta la información disponible y se destaca la necesidad de seguir investigando (capítulo 2.10).



**Figura 5.2** Una unidad de cuenca hidrográfica incluye la tierra y la red de arroyos y ríos que drena. Está delimitada por una divisoria de aguas, que es la formación de tierra con la mayor elevación de la que proceden las cabeceras. También se incluyen las fuentes puntuales y no puntuales de nutrientes que llegan a los estuarios y a las aguas costeras. (Fuente: Wurtsbaugh et al. 2019)

**Datos de entrada y análisis.** Para caracterizar las cuencas hidrográficas y los flujos y ciclos de los materiales que componen los flujos de nutrientes, se accedió a conjuntos de datos mundiales de libre acceso y se analizaron. Entre ellos se encuentran:

- Base de datos HydroAtlas V1.0 para las características de la cuenca. Se analizó un total de 3.211 cuencas principales exorreicas que drenan en la GCR. La cobertura temporal de los parámetros de las cuencas hidrográficas abarca en general el período comprendido entre 2000 y 2015. La resolución de los datos fue de 15 segundos de arco.
- Datos sobre fuentes y cargas de nutrientes como nitrógeno total (TN) y fósforo total (TP), y que son resultados del modelo del Modelo Integrado para Evaluar el Medio Ambiente Global (IMAGE) - Modelo Global de Nutrientes (GNM) (Beusen et al. 2016). El modelo resolvió un total de 470 cuencas drenantes de RGC. La resolución de los datos fue de  $0,5^\circ$ .
- Datos sobre las cargas de nutrientes, tanto en forma disuelta como en forma de partículas de nitrógeno, fósforo y sílice. Estos son los resultados del modelo Global Nutrient Export from Watersheds 2 (Global NEWS 2) (Mayorga et al. 2010). Los resultados del modelo se utilizaron para evaluar el Índice de Potencial de Eutrofización Costera (ICEP) específico de nutrientes a escala de cuenca. El conjunto de datos proporciona datos para 261 cuencas de drenaje de RGC. La resolución de los datos fue de  $0,5^\circ$ .
- Conjuntos de datos nacionales analizados en la preparación del SOCAR (PNUMA-PAC 2019).

- Informes subregionales que sintetizan los datos nacionales de los países de habla hispana (CIMAB 2020), de los países de habla inglesa y francesa (IMA 2020), y de los países de la subregión III, incluidos los de la Plataforma Norte de Brasil (NBSLME) (Universidad de Para 2020).
- También se accedió a conjuntos de datos de apoyo como:
  - Bases de datos de la FAO sobre uso de la tierra, uso de plaguicidas y aguas residuales
  - Datos a escala de país sobre las entradas netas de nitrógeno antropogénico (NANI) (Han et al., 2020)

Resultados del Programa de Evaluación de Aguas Transfronterizas (TWAP) para cuencas fluviales transfronterizas (PNUMA-DHI 2016; Talaue-McManus 2016).

### 5.3.2 Base de datos de la Estrategia Regional de Reducción de la Contaminación por Nutrientes (RNPRSAP)

Todos los datos básicos comparables en metodología, entre cuencas hidrográficas o países, tanto de entrada como derivados, se han reunido en una base de datos del RNPRSAP que es un componente integral del documento de estrategia. La base de datos pretende iniciar el montaje de la información necesaria para planificar la reducción de la contaminación por nutrientes. La generación de datos empíricos y modelizados para actualizar y mantener esta base de datos es factible cuando se establezcan programas viables de seguimiento de la contaminación por nutrientes a escala nacional, subregional o regional en los casos en que no existan actualmente, y se fortalezcan en los casos en que existan capacidades. Actualmente, la base de datos presenta resúmenes de datos espaciales a escala de país (Tabla 5.1). Las futuras presentaciones a escala de cuenca hidrográfica pueden hacerse en forma de productos SIG. No se incluyen los datos no espaciales, excepto los cálculos de NANI, ya que es mejor acceder a ellos directamente de los proveedores de datos para poder obtener los más actualizados.

**Tabla 5.1 Organización de los datos de las cuencas hidrográficas en la base de datos del RNPRSAP para la región del Gran Caribe.**

Características de la cuenca hidrográfica	Uso del suelo y características demográficas	Entradas de nutrientes y fuentes de nutrientes basadas en el presupuesto del suelo	Cargas de nutrientes	Índice de eutrofización costera	Calidad del agua costera (Datos nacionales de SOCAR relacionados con los nutrientes)
<b>Tipo</b>					
<b>Grandes países continentales:</b> Subregiones I & III, Norte de Brasil	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colombia</li> <li>• México</li> <li>• EE.UU</li> </ul>
<b>Pequeños países continentales:</b> Subregión II	✓	✓	✓	✓	Ninguno disponible
<b>Islas pequeñas:</b> Subregiones III, IV y V de la RGC	✓	✓	✓	Sólo Trinidad y Tobago con 2 células de cuenca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antigua &amp; Barbuda</li> <li>• Barbados</li> <li>• Dominica</li> <li>• Granada</li> <li>• Santa Lucía</li> </ul>

					<ul style="list-style-type: none"> <li>• San Vicente y las Granadinas</li> <li>• Trinidad &amp; Tobago</li> </ul>
<b>Islas grandes:RGC</b> Subregiones V	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> <li>• República Dominicana</li> <li>• Jamaica</li> <li>• Puerto Rico</li> </ul>
<b>Fuentes de datos</b>	Linke et al 2019 utilizando conjuntos de datos de cuenca de nivel 7 (para los mapas) y de nivel 12 (para los cálculos de datos)	Han et al. 2020; Beusen et al. 2015 para el año modelo 2000	Beusen et al 2015: Modelo del año 2000 para los nutrientes totales; Mayorga et al. 2015: Modelo del año 2000 para todas las formas de N y P	Mayorga et al. 2015	Informe de SOCAR: (PNUMA-PAC 2019)

### 5.3.3 El cambio en el uso de la tierra impulsa la adición de nutrientes en exceso

**Cambio de uso del suelo.** La conversión de las tierras forestales para cultivar y criar ganado ha sido un motor singular de la contaminación por nutrientes desde que la producción de fertilizantes sintéticos nitrogenados alcanzó la escala comercial en la década de 1920 (Tilman et al. 2001). Cada país y territorio de la Región del Gran Caribe tiene una historia detrás de la cronología del cambio de uso de la tierra que incorpora la tecnología de los fertilizantes y los pesticidas. Para este documento, los datos armonizados sobre el uso de la tierra de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) abarcan un periodo relativamente corto, desde 1961 hasta 2018. Durante este periodo, con 1990 como año de referencia para el cambio forestal, los países continentales perdieron un millón de km<sup>2</sup> de cubierta forestal, tiempo durante el cual aumentaron las tierras de cultivo y los pastos, excepto en el caso de EE.UU. (Tabla 5.2). En el caso de los pequeños países y territorios insulares, se produjeron notables reducciones de la superficie forestal y de las tierras de cultivo, ya que éstas se convirtieron para usos más urbanizados. En el caso de las islas más grandes de la subregión V, se produjeron aumentos significativos de las tierras de cultivo y disminuciones de los pastos, así como aumentos de la superficie forestal, excepto en el caso de Haití. El uso contemporáneo de la tierra (bosques, tierras de cultivo, pastos) se muestra en la Figura 5.3 y las áreas correspondientes a cada una de ellas, incluyendo las extensiones urbanas, se muestran en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.2 Cambios en las áreas agrícolas y forestales (km<sup>2</sup>) entre los países y territorios de la Región del Caribe. Los cambios en las tierras de cultivo y los pastos se rastrean desde 1961 hasta 2018; el de los bosques abarca un período más corto, desde 1990 hasta 2019. (Datos de entrada: FAOSTAT). Los valores en rojo dentro (paréntesis) son pérdidas.**

RGC Subregión	Área	Código ISO de la ONU	Tierras de cultivo		Pasto		Bosque	
			Cambio en el área (2018-1961) km <sup>2</sup>	% cambio 1961 a 2018	Cambio en el área (2018-1961) km <sup>2</sup>	% cambio 1961 a 2018	Cambio en el área (2018-1990)	% cambio 1961 a 2018
I	México	MEX	57,950	28%	27,800	4%	(46,440)	-7%

I	Estados Unidos de América	USA	(220,722)	-12%	(196,264)	-7%	73,450	2%
II	Belice	BLZ	800	190%	130	35%	(3,007)	-19%
II	Costa Rica	CRI	1,025	21%	2,850	31%	947	3%
II	Guatemala	GTM	5,090	33%	7,010	63%	(12,302)	-26%
II	Honduras	HND	1,160	8%	2,600	17%	(5,866)	-8%
II	Nicaragua	NIC	6,100	52%	10,250	46%	(27,918)	-44%
II	Panamá	PAN	1,860	33%	4,490	42%	(3,707)	-8%
III	Brasil	BRA	320,740	102%	478,458	38%	(898,466)	-15%
III	Colombia	COL	49,220	99%	46,000	13%	(54,177)	-8%
III	Guayana Francesa	GUF	158	527%	107	357%	(1,153)	-1%
III	Guyana	GUY	1,100	31%	(2,178)	-22%	(1,684)	-1%
III	Surinam	SUR	330	94%	100	167%	(1,568)	-1%
III	Venezuela (República Bolivariana de Venezuela)	VEN	(1,820)	-5%	24,500	16%	(56,882)	-11%
IV	Antigua y Barbuda	ATG	(30)	-38%	20	100%	(19)	-18%
IV	Barbados	BRB	(90)	-53%	0	0%	0	0%
IV	Islas Vírgenes Británicas	VGB	0	0%	10	25%	(1)	-2%
IV	Dominica	DMA	80	53%	0	0%	(24)	-5%
IV	Grenada	GRD	(120)	-63%	(20)	-67%	0	0%
IV	Guadeloupe	GLP	(183)	-42%	119	85%	(25)	-3%
IV	Martinique	MTQ	(53)	-25%	27	21%	41	8%
IV	Montserrat	MSR	(20)	-50%	0	0%	(10)	-29%
IV	San Cristóbal y Nieves	KNA	(109)	-68%	(31)	-78%	0	0%
IV	Santa Lucía	LCA	(40)	-29%	(24)	-80%	(5)	-2%
IV	San Vicente y las Granadinas	SVG	(40)	-44%	10	100%	10	4%
IV	Trinidad y Tobago	TTO	(450)	-49%	20	40%	(130)	-5%
IV	Islas Vírgenes de Estados Unidos	VIR	(30)	-60%	(50)	-71%	(49)	-20%
V	Las Bahamas	BHS	30	33%	10	100%	0	0%
V	Cuba	CUB	19,116	116%	8,384	44%	11,840	58%
V	República Dominicana	DOM	2,420	24%	(30)	0%	5,330	33%
V	Haití	HTI	1,900	16%	(100)	-2%	(294)	-8%
V	Jamaica	JAM	(610)	-22%	(280)	-11%	678	13%
V	Puerto Rico	PRI	(2,378)	-78%	(2,093)	-67%	1,750	55%
	Cambio neto		242,324	10%	411,824	8%	(1,019,709)	-10%

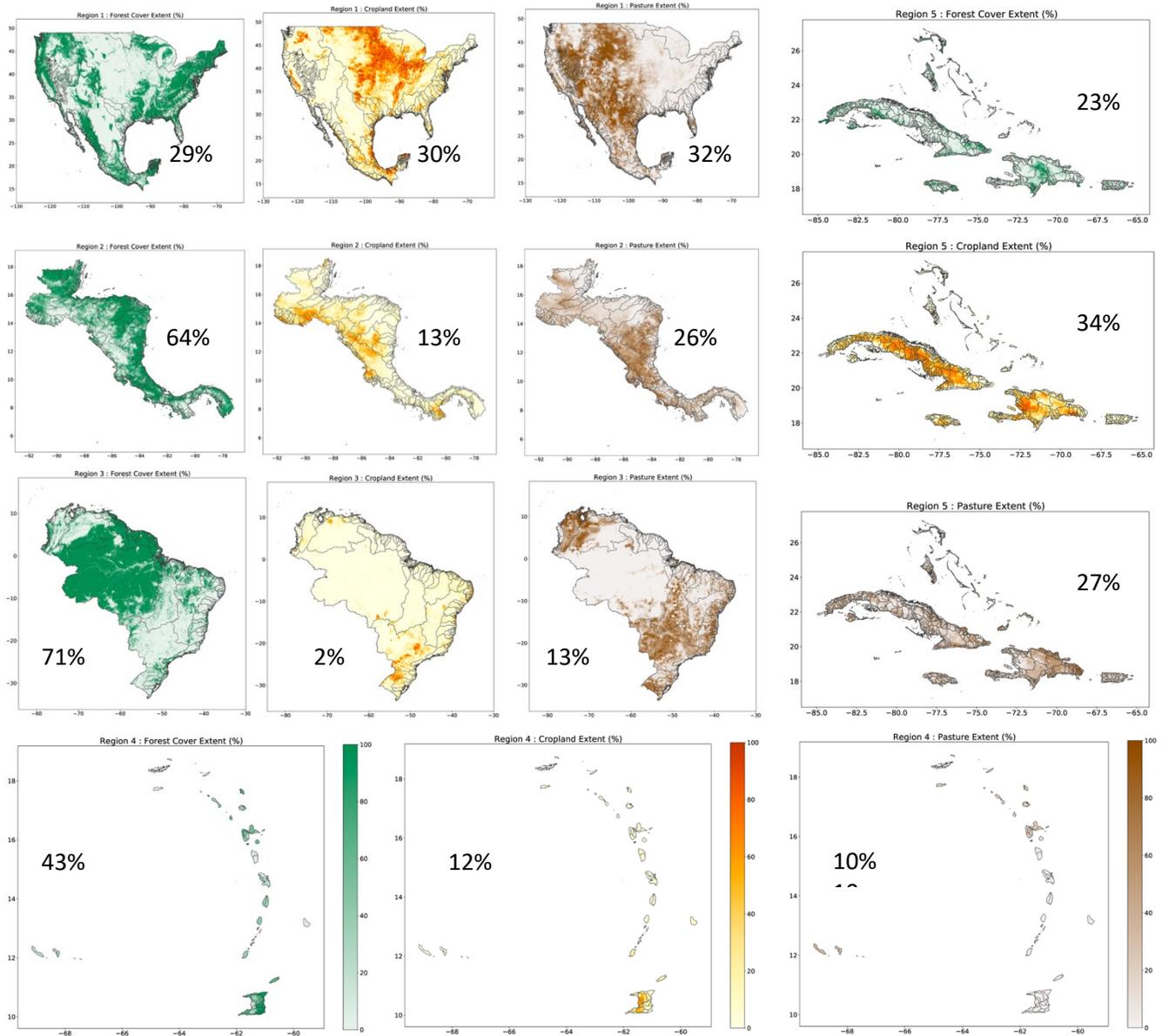


Figura 5.3 Uso de la tierra en los países del RGC en el año 2000 (datos de HydroAtlas, Linke et al. 2019). El porcentaje de cobertura es a escala subregional. La cobertura forestal sigue una escala de verde claro a oscuro; las tierras de cultivo, una escala amarillo-naranja, y los pastos, una escala de marrón claro a oscuro. La subregión III combina el norte de Brasil con los países de la subregión III.

**Tabla 5.3 Uso contemporáneo de la tierra incluyendo extensiones urbanas (datos procesados de HydroAtlas, Linke et al. 2019).**

Subregión RGC	Área de la cuenca hidrográfica, (km <sup>2</sup> )	Bosque (km <sup>2</sup> )	Tierras de cultivo (km <sup>2</sup> )	Pasto (km <sup>2</sup> )	Urbano (km <sup>2</sup> )
I	5,441,154	1,554,623 29%	1,634,232 30%	1,740,170 32%	106,056 2%
II	364,408	234,070 64%	46,466 13%	95,529 26%	6,343 2%
III*	6,974,806	4,965,249 71%	134,094 2%	924,134 13%	22,170 0%
IV	14,001	6,056 43%	1,708 12%	1,362 10%	2,033 15%
V	228,975	52,288 23%	77,292 34%	62,067 27%	13,780 6%

\* Incluye las principales cuencas que drenan a la NBSLME (la cuenca del Amazonas y otras hasta el estuario del Parnaíba y excluye las cuencas del Amazonas fuera de la RGC (es decir, las de Bolivia, Ecuador y Perú).

La pérdida de tierras forestales, la expansión e intensificación de las áreas agrícolas y el aumento de las superficies edificadas en el caso de las islas pequeñas, son usos de la tierra que movilizan el suelo, los nutrientes y otros contaminantes de las cuencas, llegando a los ecosistemas acuáticos, incluidas las aguas costeras, y más allá de la plataforma continental en el caso de los ríos principales. Los bosques y los microbiomas asociados realizan un estrecho ciclo de nutrientes entre los componentes bióticos y abióticos. En el caso de las tierras de cultivo, el laboreo y otras prácticas agrícolas, incluida la aplicación de productos químicos para la protección de los cultivos, han hecho que los suelos sean insalubres, con una materia orgánica mínima para que los microbios restantes puedan mediar en el ciclo de los nutrientes. Así comienza el uso de productos químicos para potenciar la producción de los cultivos y matar a los organismos que presumiblemente lo minimizan. En el caso de las superficies edificadas, los sistemas acuáticos se degradan visiblemente cuando alrededor del 10% de la tierra de la cuenca circundante se vuelve impermeable (Klein 1979; Schueler y Holland 2000; Beach 2002).

**Fertilizantes y eficiencia en el uso de nutrientes.** Durante un período de casi seis décadas, de 1961 a 2018, las tierras de cultivo en los países de la Región del Gran Caribe aumentaron de 2,5 millones de km<sup>2</sup> a casi 2,8 millones de km<sup>2</sup>, ocupando sólo el 12% de la superficie nacional total en el último año de datos. Utilizando los datos espaciales más recientes referidos al año modelo 2000, las tierras de cultivo representan el 14% de las cuencas hidrográficas agregadas de la Región del Gran Caribe (Base de datos RNRSAP V3.0). Actualmente, los países de América Latina y el Caribe (ALC) aportan el 14% de la producción mundial de alimentos y el 23% de las exportaciones agrícolas y pesqueras. Se prevé que estas contribuciones aumenten en más del 5% para el año 2028 (OCDE-FAO, 2019). Una cuestión importante es el alcance de las compensaciones ambientales que estos aumentos supondrán, además de las cuestiones de inseguridad alimentaria y pobreza para muchos hogares agrícolas de la región (Flachsbarth et al. 2015). Para cuantificar cómo se utilizan los fertilizantes en la región y determinar las cantidades excesivas tanto de N como de P, se utilizaron dos índices para cuantificar la eficiencia de uso y el exceso de escorrentía de nutrientes. Hay que tener en cuenta que la escorrentía agrícola y los flujos de agua subterránea también se estimaron tanto para el N como para el P utilizando el modelo de Beusen et al., que tiene en

cuenta la retención, las transformaciones y las pérdidas de nutrientes. Las Eficiencias de Uso de Nitrógeno y Fósforo se calcularon sin tener en cuenta estos procesos biogeoquímicos. Véase el apartado 2.3.1 para más detalles, incluidos los anexos 2.3 y 2.4. Las ecuaciones para ambos índices son las siguientes:

***Eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE)*** = (cosecha anual en Kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) / aportes anuales [fertilizante sintético de N + fijación simbiótica de N, + aplicación de estiércol + deposición atmosférica] a las tierras de cultivo (ecuación 1.0) (Lassaletta et al. 2014)

***Eficiencia del uso del fósforo (PUE) del sistema agrícola y de sus subsistemas*** = Total de P cosechado en productos económicos como cultivos, carne, leche y huevos/ Total de insumos de P [fertilizantes de P para las tierras de cultivo, P procedente de roca fosfórica extraída, deposición de P atmosférico en zonas de cultivo y pastos] (Ecuación 2.0) (Lun et al. 2018)

Los índices de eficiencia en el uso de nutrientes utilizan como parámetros básicos la cosecha de los cultivos, la producción ganadera y el uso de fertilizantes. Las relaciones anteriores establecen básicamente que, a partir de una determinada tasa de aplicación, los cultivos ya no pueden asimilar los fertilizantes para su crecimiento. Los nutrientes no utilizados se convierten en excesos o excedentes y salen del sistema agrícola con el agua como principal agente de transporte. La tabla 5.4 resume la cantidad de fertilizantes de N y P que está en exceso de lo que los cultivos pueden utilizar para su crecimiento. Las tierras de cultivo de la Región del Gran Caribe tienen una eficiencia del 57% en la utilización de fertilizantes de N y del 57% en la utilización de fertilizantes de P. El desperdicio es muy alto, un 40%. Por ello, el exceso de N fue de casi 12 millones de toneladas en el año modelo 2000. El exceso de P se estimó en 640 mil toneladas para el mismo año. Fuera de las tierras de cultivo, estos nutrientes fertilizan las algas flotantes y bentónicas a lo largo del continuo acuático. Comparando estos resultados con los del modelo de Beusen, el valor del excedente de N es 3,5 veces mayor que el de las fuentes de N agrícolas modeladas, y el excedente de P es casi 2 veces mayor que el estimado para las fuentes de P agrícolas, ya que los métodos de inventario no tienen en cuenta las pérdidas debidas a la retención o desnitrificación de nutrientes en el caso del N o la adsorción en el caso del P.

Además de los fertilizantes, también se utilizan plaguicidas para proteger los cultivos durante su crecimiento y los productos que se cosechan hasta que éstos llegan a los compradores para su distribución y a los minoristas para su consumo. Los plaguicidas son biocidas y a menudo no son selectivos en sus propiedades mortales. Utilizados de forma imprudente, estos compuestos suponen graves riesgos para los trabajadores agrícolas, los ecosistemas agrícolas y acuáticos y el público consumidor. No existen eficiencias de uso para los plaguicidas y las estimaciones de liberación al medio ambiente sólo pueden hacerse con mediciones empíricas, como se cita en el apartado 2.3.2 del informe. Además, las normas actuales se aplican sobre todo a niveles que protegen a los consumidores, no a los ecosistemas ni a los trabajadores agrícolas. La dosis de aplicación de plaguicidas debería ser idealmente a nivel profiláctico, y eso es consciente de la protección de los ecosistemas del suelo y de los arroyos y de las personas, incluido el público consumidor. Se calcula que en 2018 se aplicaron 940.000 toneladas de plaguicidas en total, lo que supone una duplicación con respecto a 1990 (Figura 5.4).

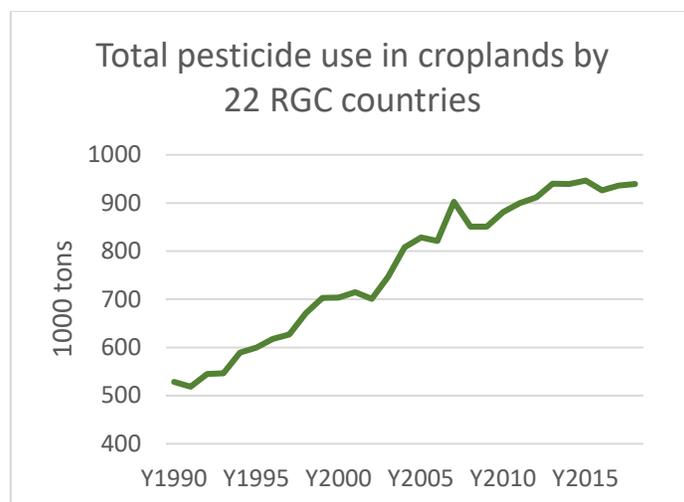


Figura 5.4 Uso de plaguicidas en los países de la Región del Gran Caribe durante el período 1990-2015. Fuente de datos: Estadísticas de la FAO sobre el uso de plaguicidas en la agricultura, 1990-2018.

Tabla 5.4 El exceso de flujos de nitrógeno (N) y fósforo (P) se generó porque las tierras de cultivo sólo tenían un 60% de eficiencia en la utilización de los fertilizantes de N y P. Los pastos, que no estaban fertilizados, aportaron el 15% del total de los flujos de exceso de P procedentes del estiércol del ganado, ya que se supuso que no estaban fertilizados como las tierras de cultivo.

Modelo del año 2000	Tierras de cultivo, km <sup>2</sup>	Pastos, km <sup>2</sup>	Escorrentía P de las tierras de cultivo, toneladas	Escorrentía de P de los pastos, toneladas	Exceso de escorrentía P, 10 <sup>3</sup> toneladas	Excedente N de escorrentía, 10 <sup>3</sup> toneladas
Subregión I	1,634,238	1,740,175	473,284	35,792	514	9,978
Subregión II	46,466	95,529	8,873	6,031	15	305
Subregión III	134,096	924,159	49,931	45,031	95	1,140
Cuencas amazónicas (BOL-ECU-PER) <sup>1</sup>	51,655	333,868	10	10	21	<b>264</b>
Subregión IV	2,549	4,223	1,504	343	2	<b>No datos</b>
Subregión V	76,431	58,836	13,176	7,398	21	321
<b>Total RGC</b>	<b>1,945,435</b>	<b>3,156,790</b>	<b>546,779</b>	<b>94,605</b>	<b>667</b>	<b>12,009</b>

<sup>1</sup> Se trata de cuencas hidrográficas situadas en Bolivia, Ecuador y Perú, que forman el tramo superior de la cuenca del río Amazonas y contribuyen a la carga de nutrientes del río Amazonas.

### 5.3.4 Fuentes de nutrientes contaminantes: Urbanización y aguas residuales domésticas no tratadas.

Se estima que para el año 2010 se liberaron 890.000 toneladas de TN y 155.000 toneladas de TP en forma de aguas residuales domésticas no tratadas en la región, que son generadas por el uso de baños, la preparación de alimentos y el lavado de ropa (Tabla 5.5). Este método de estimación del inventario no tiene en cuenta la retención de nutrientes ni otras pérdidas como la desnitrificación. Las estimaciones modeladas para el TN de las aguas residuales para el año modelo 2000 son de 533.000 toneladas y de 70.000 toneladas para el TP. Dada la diferencia de 10 años, las estimaciones de TN están en el mismo orden de magnitud, mientras que el TP basado en el inventario es el doble de la estimación del modelo. En la RGC, las aguas residuales como fuente de nutrientes representan el 10% de los flujos contaminantes totales en el año 2000 del modelo. En la subregión V, donde se encuentran las grandes islas de la RGC, las aguas residuales representan casi el 25% del total de contaminantes N. La mitigación es muy necesaria para proteger la salud pública y los ecosistemas en la subregión V, donde la urbanización es elevada.

**Tabla 5.5 Estimaciones de las aguas residuales domésticas no tratadas que contribuyen a la contaminación por nutrientes. Se utilizaron las poblaciones de las cuencas hidrográficas para 2010 en la base de datos RNPRSAP para escalar los cálculos, cuyos métodos se detallan en el Anexo 4.1 de SOCAR (PNUMA-PAC, 2019).**

RGC Subregión	Población en el área de la cuenca que drenal RGC, 10 <sup>3</sup> (2010)	2010 Aguas residuales no tratadas vertidas al medio ambiente 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /año	10 <sup>3</sup> toneladas de TN en aguas residuales no tratadas (2010) (N = 60 g m <sup>-3</sup> )	10 <sup>3</sup> toneladas de TP en aguas residuales no tratadas (2010) (P = 10 g m <sup>-3</sup> )
Subregión I	198,402	5.68	341	57
Subregión II	20,262	0.81	48	8
Subregión III	70,018	4.70	282	47
Norte de Brasil	22,634	0.79	39	13
Cuencas amazónicas en BOL-ECU-PER <sup>1</sup>	19,298	0.34	20	3
Subregión III Islas	102	0.004	0	0.04
Subregión IV	3,014	0.18	11	2
Subregión V	38,017	2.45	147	25
<b>TOTAL</b>	<b>372,180</b>	<b>15</b>	<b>890</b>	<b>155</b>

<sup>1</sup>Cuencas hidrográficas amazónicas situadas en Bolivia, Ecuador y Perú, y que contribuyen a la carga de nutrientes contaminantes del río Amazonas.

### 5.3.5 Fuentes de nutrientes contaminantes mediante modelización integrada

Los resultados del modelo que estiman las fuentes de nitrógeno y fósforo en forma de nutrientes totales, es decir, que combinan las formas disueltas y particuladas, se muestran en las tablas 5.6 y 5.7. Las cuencas del NBSLME se mantienen separadas del resto de la RGC para resaltar las diferencias en las fuentes y las magnitudes de las fuentes de nutrientes. La NBSLME tiene la mayor superficie forestal de la RGC. Por ello, el 94% del nitrógeno procede de fuentes naturales y el 5% de la agricultura. En cambio, los flujos de nitrógeno procedentes de la agricultura, tanto de las aguas superficiales como subterráneas, representan el 60% del total de los flujos en las subregiones I a V. Las tendencias del fósforo son las mismas: los flujos

de P en el NBSLME proceden casi exclusivamente de fuentes naturales y la agricultura sólo contribuye con un 8%. Es absolutamente esencial frenar la contaminación de la agricultura en su origen en las cuencas de las subregiones I a V. Y no debe partirse de una falsa dicotomía entre aumentar la producción de alimentos y sacrificar la protección del medio ambiente. La agricultura no puede sostenerse sin un suelo sano y un agua sana.

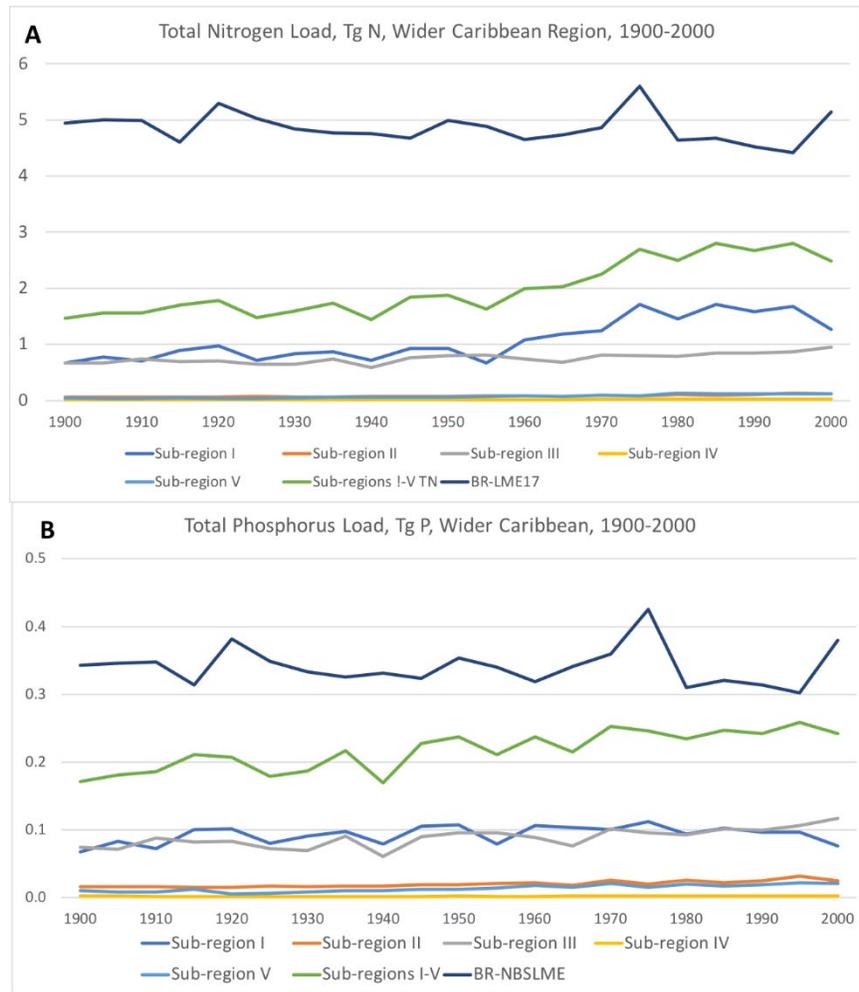
**Tabla 5.6 Estimaciones de las fuentes de nitrógeno como nitrógeno total (NT = formas disueltas y particuladas) utilizando el modelo de Beusen et al. (2015, 2016).**

Fuentes de nitrógeno (Modelo del año 2000)	Fuentes naturales (Vegetación + escorrentía no agraria + agua no agraria)	Deposición atmosférica	Agricultura (aguas superficiales + subterráneas)	Aguas residuales	Acuicultura	Todas las fuentes de nitrógeno
Subregión I-V (1000 toneladas)	1612	58	3278	509	10	5,468
Subregión I-V (%)	30%	1%	60%	9%	0%	100%
NBSLME (1000 toneladas)	7973	22	391	23	0	8,411
NBSLME (%)	94%	0%	5%	0%	0%	100%

**Tabla 5.7 Estimaciones de las fuentes de fósforo como fósforo total (PT = formas disueltas y particuladas) (Beusen et al. 2015, 2016).**

Fuentes de fósforo (Modelo del año 2000)	Fuentes naturales (interperie + vegetación + escorrentía no agraria)	Agricultura (Escorrentía superficial)	Aguas residuales	Acuicultura	Todas las fuentes de fósforo
Subregión I-V (1000 toneladas)	202	339	66	1	608
Subregión I-V (%)	33%	56%	11%	0%	100%
NBSLME (1000 toneladas)	697	23	3	0	723
NBSLME (%)	91%	8%	0%	0%	100%

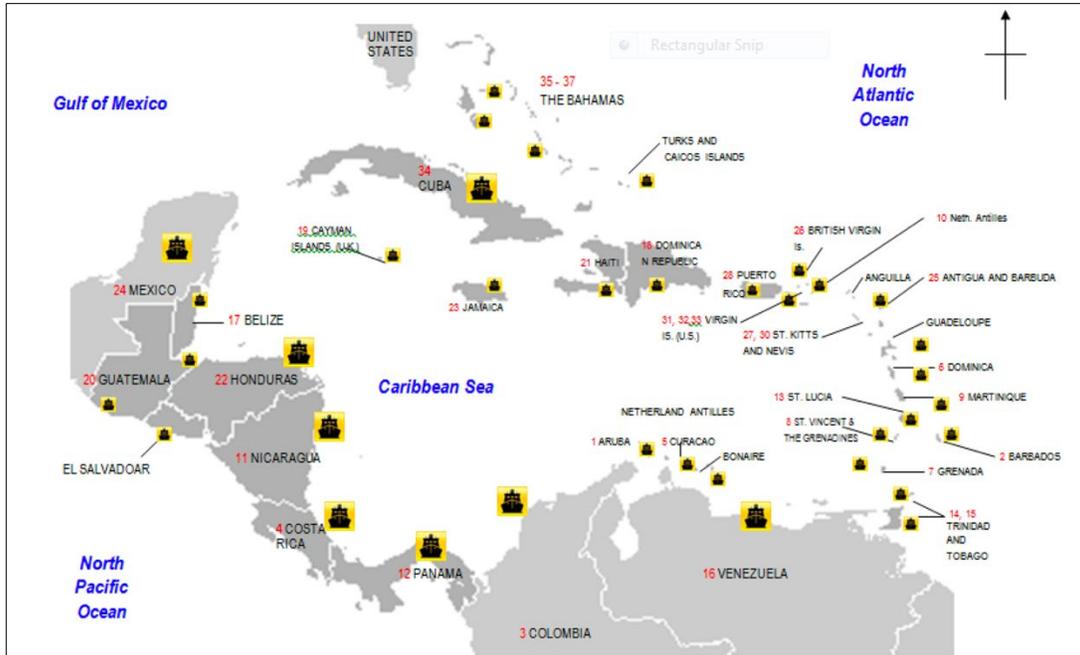
Utilizando el modelo de Beusen, fue posible hacer un análisis retroactivo de las cargas de nutrientes, las cantidades reales que llegan a la desembocadura del río para su descarga en las aguas costeras. La figura 5.5 muestra una duplicación del nitrógeno total y un aumento del 40% de la carga de P en 100 años para el total combinado de las 5 subregiones. Los gráficos de líneas de Brasil, en cambio, son casi horizontales debido a la gran capacidad de las llanuras de inundación boscosas para secuestrar nutrientes en forma de biomasa vegetal. La pérdida de tierras forestales alterará las pendientes de las cargas de nutrientes a lo largo del tiempo en escenarios sin mitigación de la contaminación por nutrientes.



**Figura 5.5 Cargas modeladas de N total (A) y P total (B) para los años del modelo 1900 a 2000, Las cargas de nutrientes son cantidades estimadas de lo que llega a la desembocadura del río y son netas de la retención en la desembocadura. Los gráficos de líneas se refieren a regiones individuales o al total de las subregiones I a V combinadas. Las cargas a lo largo del tiempo para las cuencas del norte de Brasil muestran una pendiente horizontal debido a la capacidad de amortiguación de las llanuras de inundación con vegetación y de los bosques para ciclar los nutrientes de forma ajustada dentro del bioma forestal. Para la región, excepto en Brasil, el nitrógeno total casi se duplicó en un siglo. En el caso del fósforo, se produjo un aumento del 40% en el mismo periodo de tiempo.**

### 5.3.6 Fuentes marinas de contaminación por nutrientes

Mientras que la agricultura es el único motor de la contaminación por nutrientes en tierra, el turismo de cruceros puede ser la fuente colectiva itinerante de aguas residuales cargadas de nutrientes en el mar. En la Región del Gran Caribe, el turismo de cruceros es la forma de turismo más lucrativa hasta la fecha, con unos ingresos que alcanzaron los 40.000 millones de dólares en 2016, y 24 millones de pasajeros que llegan a más de 30 destinos insulares del Caribe a bordo de megabuques que transportan una media de 4.000 pasajeros y 500 miembros de la tripulación cada uno (Honey 2016, 2019) (Figura 5.6).



**Figura 5.6 Puertos de cruceros en el Gran Caribe. No se incluyen los puertos de Estados Unidos y Brasil (Dirección de Turismo Sostenible de la AEC, 2016).**

En 2008, la Agencia de Protección Medioambiental de EE.UU. (EPA) publicó sus conclusiones sobre los flujos de residuos generados por los cruceros, incluyendo las aguas residuales, las aguas grises, las aguas de sentina aceitosas, los residuos sólidos y los residuos peligrosos; incluyendo un análisis exhaustivo de la tecnología de mitigación, y las leyes internacionales y estadounidenses existentes que regulan los vertidos de los buques en las aguas territoriales de EE.UU. o el transporte de dichos materiales a los puertos de EE.UU. (Tabla 5.8). Los datos detallados sobre las operaciones de los cruceros y las capacidades de la tecnología de a bordo para el tratamiento de las aguas residuales serían cruciales para cuantificar la producción de aguas residuales en los barcos y los vertidos en el mar utilizando los índices publicados de producción de aguas residuales. Dada la ausencia de regulaciones de la industria y de políticas nacionales para recopilar y notificar estos datos críticos sobre las operaciones y los vertidos de los cruceros, hasta la fecha no se ha realizado ninguna evaluación sistemática de la generación de residuos de nutrientes de los cruceros. En lugar de un informe oficial de la industria o de la normativa, Amigos de la Tierra (FOE), una organización medioambiental no gubernamental, lleva elaborando desde 2010 informes periódicos sobre los cruceros, centrados en el tratamiento de las aguas residuales, la reducción de la contaminación atmosférica, el cumplimiento de la calidad del agua y la transparencia sobre las prácticas medioambientales.

**Tabla 5.8 Flujos de residuos generados por los cruceros (US EPA 2008).**

Flujo de residuos	Tasa media de producción de residuos por crucero y día	Tasa de producción media por persona y día	MARPOL (Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques)
Aguas residuales (aguas negras)	21.000 galones	8,4 galones	Se prohíbe la descarga a menos que se descarguen aguas residuales trituradas y desinfectadas a más de 3 m de la tierra más cercana; o se descarguen aguas residuales no trituradas ni desinfectadas a una distancia de más de 12 m de la tierra más cercana

Aguas grises (aguas residuales de fregaderos, baños, duchas, lavandería y cocinas)	170.000 galones	67 galones	Anexo 4 de MARPOL
Aguas de sentina aceitosas	2640 galones (máximo para 2700-3200 pasajeros)		Anexo I de MARPOL, Reglas para la prevención de la contaminación por hidrocarburos
Residuos sólidos	(Royal Caribbean Cruises, por buque y por semana): 60 metros cúbicos de madera de estiba 5 metros cúbicos de vidrio 2,5 metros cúbicos de latas 12 metros cúbicos de residuos de alimentos	7,7 libras/persona/día	MARPOL Anexo V; también exige a los gobiernos que garanticen la existencia de instalaciones portuarias de recepción de residuos sólidos
Residuos peligrosos (residuos sólidos con componentes peligrosos)	(Royal Caribbean Cruises, 17 buques): - Residuos fotográficos: 1300 galones/semana - residuos médicos: 80 libras/semana - pilas y baterías: 580 libras/semana - pintura y disolventes usados: 225 galones/semana		Peligrosos si aparecen en 4 listas de residuos peligrosos (lista F, lista K, lista P o lista U) o tienen una de las cuatro características de peligrosidad (inflamabilidad, corrosividad, reactividad o toxicidad); las sustancias peligrosas se almacenan a bordo y deben eliminarse en instalaciones receptoras portuarias siguiendo las normas del país del puerto y de MARPOL.

Criminal Violations: All Carnival Corporation companies committed criminal environmental violations from 2017 - 2020.

CRUISE LINE	Sewage treatment	Air pollution reduction	Water quality compliance	Transparency	Criminal Violations	2020 FINAL GRADE
Disney	C	A-	A	A		<del>X</del> -B-
Silversea	D-	F	A	A		C
Celebrity	C	F	F	A		D+
Royal Caribbean	C-	F	F	A		D
Virgin Voyages	C	F	F	A		D
Regent Seven Seas	C	F	A	F		D
Princess	C-	C	D+	F	✓	<del>X</del> F
Norwegian	C	D-	F	F		D-
Oceania	D	F	C+	F		D-
Seabourn Cruises	C	F	D-	F	✓	<del>X</del> F
Holland America	C	F	F	F	✓	<del>X</del> F
Cunard	C	F	F	F	✓	<del>X</del> F
AIDA Cruises	C-	F	F	F	✓	F
P&O Cruises	D-	F	F	F	✓	F
Carnival Cruise Line	F	D	F	F	✓	F
MSC Cruises	D-	F	F	F		F
Costa	F	F	F	F	✓	F
Crystal	F	F	N/A	F		F

Figura 5.7 Informe del año 2020 de 18 líneas de cruceros evaluadas por los Amigos de la Tierra, acompañado de los detalles disponibles en el sitio web de la FOE. (Fuente: <https://foe.org/projects/cruise-ships/?issue=335>)

### 5.3.7 Impactos de la contaminación por nutrientes: Cargas inorgánicas, eutrofización e hipoxia

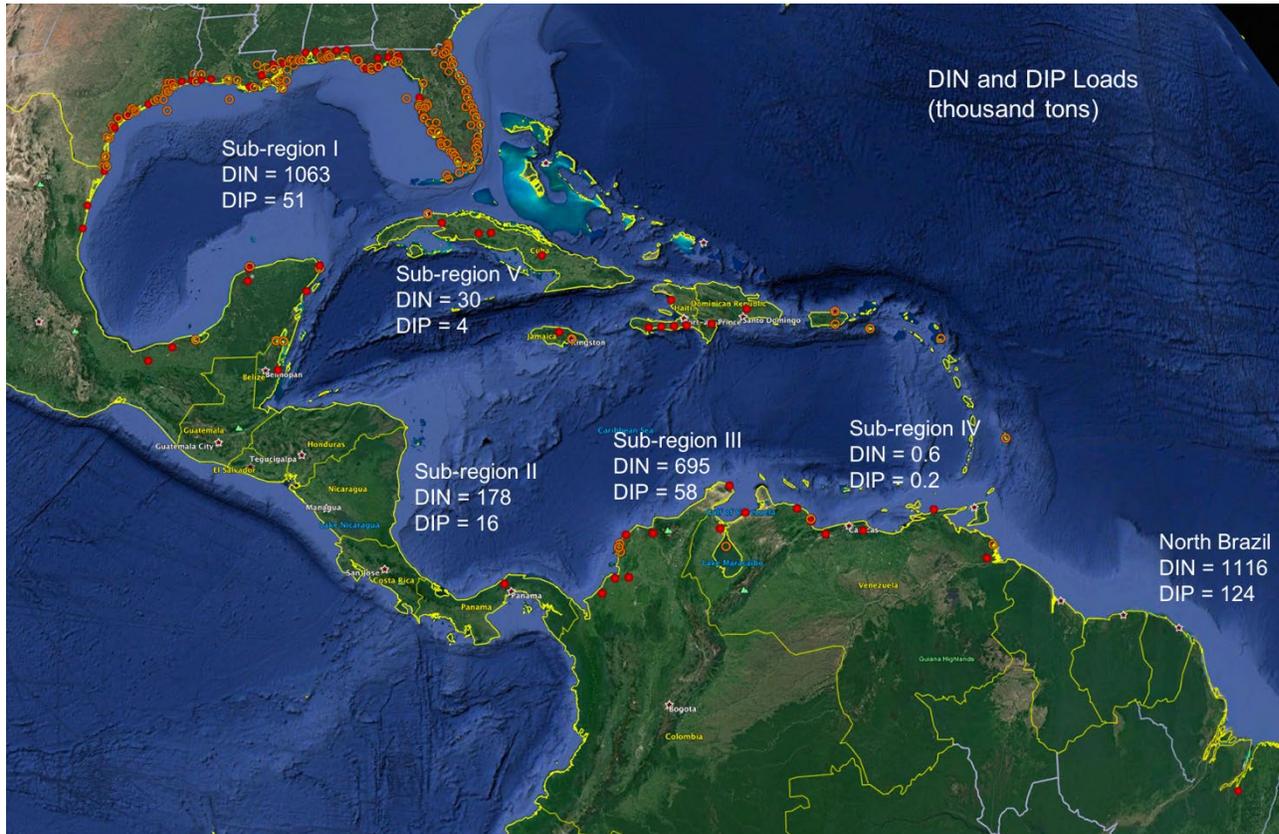


Figura 5.8 Las formas inorgánicas disueltas de nitrógeno (DIN) y fósforo (DIP) son las formas de nutrientes más biológicamente reactivas, ya que se utilizan para sintetizar la biomasa vegetal. Las estimaciones del modelo utilizando el Global NEWS Model 2 proporcionan valores a escala de cuenca que se agregan aquí por subregiones. Los círculos abiertos de color naranja son lugares eutróficos documentados científicamente (es decir, que el N o el P, o ambos, superan los requisitos de sílice de las diatomeas) que también son hipóxicos (es decir, que el oxígeno disuelto en el fondo es igual al límite fisiológico de 2 mg/L de O<sub>2</sub>) (n=164, Díaz et al. 2011), y los círculos rellenos de color rojo son desembocaduras de ríos que se han evaluado en este informe como con un potencial positivo para convertirse en eutróficos.

**Índices de nutrientes del potencial de eutrofización costera.** La contaminación por nutrientes es un problema medioambiental crítico porque desencadena importantes respuestas a escala de los ecosistemas con graves repercusiones en los medios de vida y la salud humana, por no mencionar el deterioro de los servicios de los ecosistemas que son necesarios para sostener las economías azules. Utilizando los datos del Modelo Global NEWS2, que incluyen formas disueltas y particuladas de N, P y sílice (Si) para el año 2000 del modelo para 261 cuencas fluviales, se evaluaron los Índices de N y P del Potencial de Eutrofización Costera (N-ICEP y P-ICEP, respectivamente) para todas las cuencas resueltas (véase la sección 3.1.2). Se estimó que alrededor de 63 cuencas eran positivas para el N-ICEP y 85 para el P-ICEP (Figura 5.8). Cuarenta y tres cuencas fueron positivas para ambos nutrientes. (Véase el apartado 3.1.2 para las directrices de interpretación de los datos). En todas las cuencas fluviales, el N fue sistemáticamente limitante, excepto en 3 cuencas fluviales, siguiendo un patrón general de limitación de N para las aguas costeras. Obsérvese que la limitación de nutrientes puede alternar entre el N y el P, y que ambos pueden ser limitantes al mismo tiempo. Para el conjunto de datos NEWS2, los autores del modelo determinaron que las aguas costeras estaban comúnmente limitadas por el N. Por ello, los sitios

con N-ICEP positivo en los que el nitrógeno era limitante se marcaron con los círculos rojos. Se utilizó una validación gruesa usando una compilación de sitios eutróficos científicamente documentados que también eran hipóxicos para ver la proximidad espacial con los sitios evaluados como N-ICEP positivo. Como muestran los gráficos de la Figura 5.8, hay zonas costeras con N-ICEP positivo sin sitios eutróficos documentados. La resolución gruesa del Global NEWS es un factor explicativo, ya que no resolvió las desembocaduras de los ríos de las islas pequeñas de la subregión IV, excepto en el caso de dos sistemas de Trinidad y Tobago. Lo ideal sería que todos los lugares con ICEP positivo se validaran empíricamente para detectar la presencia de floraciones de algas nocivas (FAN) compuestas principalmente por dinoflagelados. Este grupo funcional de microalgas toma el relevo cuando la sílice se convierte en limitante, y que es el nutriente preferido por las diatomeas silíceas que normalmente se producen cuando la relación molar Redfield de N: P es cercana o cercana a 16.

**Floraciones de algas nocivas.** Las FAN se producen en respuesta a un exceso de nutrientes en cantidades que favorecen a las algas distintas de las diatomeas. La formación de floraciones masivas y su posterior descomposición impone una alta demanda de oxígeno en la columna de agua y la superficie del sedimento. Las FAN en la RGC parecen producirse con una intensidad creciente (Figura 5.9). Durante el periodo de documentación de 1980 a 2018, los dinoflagelados constituyeron el 80% de las FAN (Figura 5.10). Uno de los principales impactos sociales de estos eventos ecológicos son los síndromes de envenenamiento inducidos por dinoflagelados, asociados a la bioacumulación de toxinas. En la región de ALC, la intoxicación paralítica por mariscos (PSP) representa el 64% de los síndromes reportados en la región. No se ha realizado una evaluación sistemática de los costes sociales y económicos de los síndromes de envenenamiento en la región. Esto implica tratar los síndromes de envenenamiento por FAN como enfermedades a las que hay que seguir la pista por su génesis y pronóstico ambiental y médico. Dado que es probable que el número de casos en la región aumente debido a la incesante contaminación por nutrientes y al calentamiento global, es fundamental que el seguimiento y la vigilancia de las FAN abarquen todo el conjunto de disciplinas sanitarias y oceanográficas, en colaboración con los ámbitos social y económico para un programa integrado sobre las FAN. Existen redes de vigilancia de las FAN para el Caribe y América Central (FANCA) y otra para América del Sur (FANSA), que colaboran en la elaboración de informes de síntesis como los citados aquí.

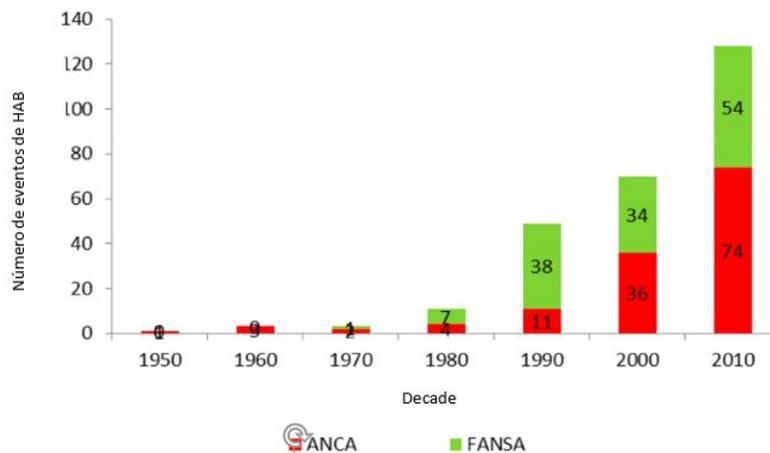


Figura 5.9 Número de eventos de FAN en las regiones FANCA (Caribe y Centroamérica) y FANSA (Sudamérica) analizados por década. (Fuente: Méndez et al. 2018).

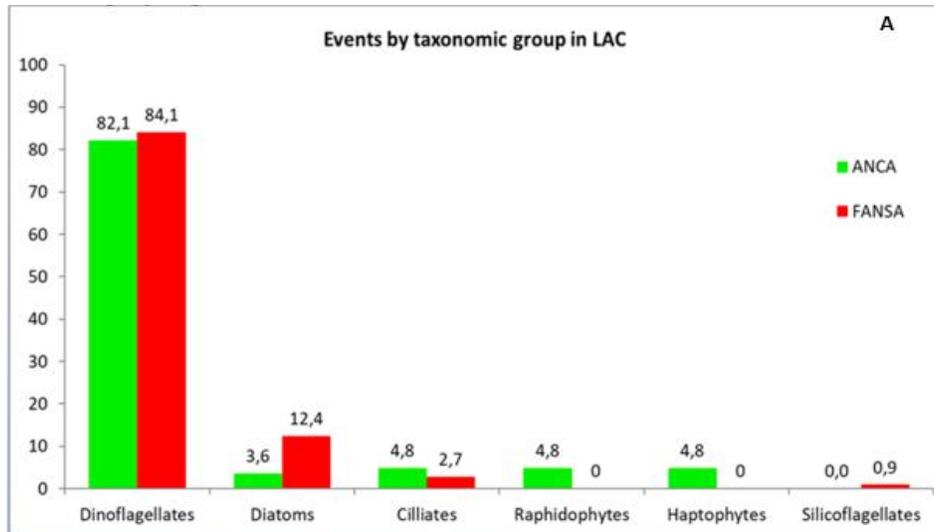


Figura 5.10 Organismos causantes de las FAN (Fuente: Méndez et al. 2018).

El impacto económico de las FAN costeras ocurridas en todo el país durante el periodo 1987-1992 ha sido evaluado sistemáticamente por Hoagland et al. (2002). Las estimaciones oscilan entre un mínimo de 36 millones de dólares y un máximo de 126 millones de dólares, teniendo en cuenta los costes ajustados a la inflación de 2020 en materia de salud pública, pesca comercial, actividades recreativas y turísticas, y vigilancia y gestión.

**Zonas hipóxicas y pesca.** La longevidad de las condiciones de hipoxia depende de las tasas de lavado cuando se puede reponer el oxígeno. La llegada de los huracanes puede acortar los fenómenos de hipoxia. El calentamiento durante la temporada de verano exacerba la hipoxia. La hipoxia en condiciones de mínima reposición de oxígeno en el fondo progresa hacia la anoxia, cuando el oxígeno disuelto cae por debajo del límite fisiológico. La extensión de la zona hipóxica en el interior del Golfo de México ha alcanzado hasta 23.000 km<sup>2</sup> y 140 km<sup>3</sup> de volumen en 2017 (Figura 5.11). Sin duda, para los bentos sésiles, la mortalidad es segura, y los conjuntos faunísticos muestran una sucesión hacia especies oportunistas y de corta vida. Los animales móviles, en cambio, pueden migrar a zonas con hipoxia menos severa. Una de las principales preocupaciones es el impacto que los eventos hipóxicos pueden tener en las pesquerías. Debido a los mecanismos de compensación del necton y a los ajustes de comportamiento que puede hacer una flota pesquera al seleccionar los lugares de pesca, las mediciones de los impactos económicos han sido equívocas. Recientemente, se han elaborado modelos bioeconómicos que utilizan parámetros no relacionados con el comportamiento, como el precio del marisco y las relaciones que éste tiene con las poblaciones objetivo desagregadas por tamaños, para medir con éxito los impactos económicos en las pesquerías. Se recomienda utilizar las respuestas orgánicas al oxígeno para informar a los modelos integrados, de modo que los impactos del oxígeno se capten de forma explícita.

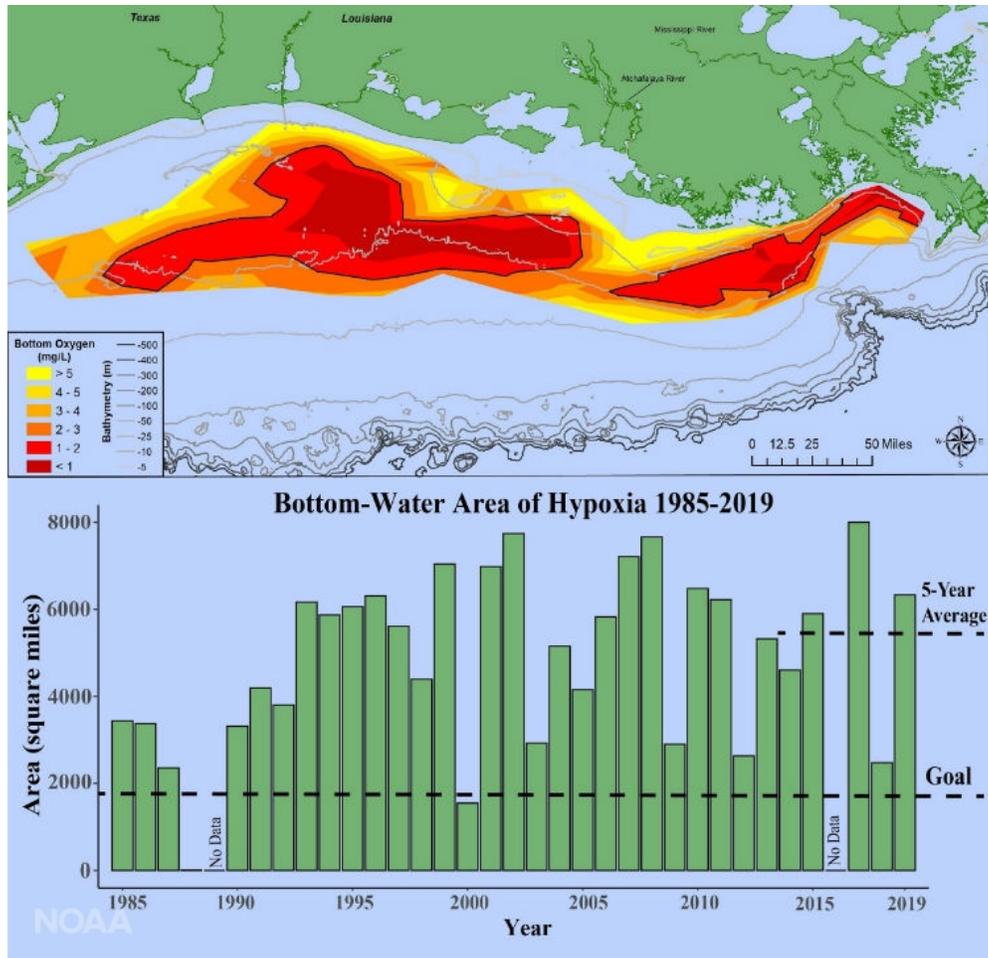


Figura 5.11 Tamaño de la zona hipóxica del Golfo de México de 1985 a 2019. El objetivo es reducir la zona a menos de 2000 mi<sup>2</sup> o 5000 km<sup>2</sup>. (Fuente: <https://www.noaa.gov/media-release/large-dead-zone-measured-in-gulf-of-mexico>, LUMCON/LSU)

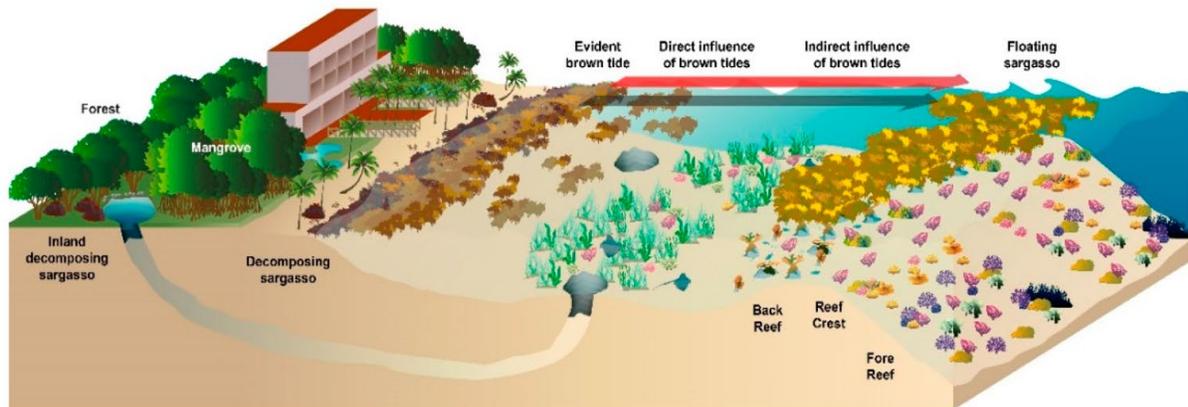
Uno de los principales retos para mitigar la zona muerta del Golfo de México es la cuestión de los nutrientes heredados. Se trata de reservas de nutrientes que se han acumulado a lo largo del tiempo en los sedimentos o en las aguas subterráneas, y que funcionan como nutrientes almacenados que pueden movilizarse biogeoquímicamente para mantener las floraciones y las condiciones de hipoxia durante décadas, incluso cuando las cargas contemporáneas se reducen o se prohíben. Sería necesario que se produjera una alteración de la forma en que se practica la agricultura, de manera que los flujos de nutrientes pudieran ser frenados drásticamente en su origen. No hay una forma viable de utilizar o limpiar los nutrientes heredados que pueda limitar operativamente el alcance de los objetivos de reducción de nutrientes contemporáneos. Los datos más recientes para 2020 muestran un descenso de la media de 5 años y pueden verse aquí: <https://www.noaa.gov/media-release/smaller-than-expected-gulf-of-mexico-dead-zone-measured>.

### 5.3.8 La contaminación por nutrientes y la molesta floración de sargazos

La floración pelágica de Sargazo ha assolado anualmente las costas del Caribe en diversos grados desde 2011, año en el que fue rastreada por primera vez. La hipótesis es que la génesis de esta floración de

macroalgas es climatológica: los vientos se desplazaron de forma anómala al sur del Mar de los Sargazos y provocaron una dispersión del Sargazo hacia el este en el invierno de 2009-2010. La población que se dispersó giró hacia el sur a lo largo de la Corriente de Canarias y entró en las aguas cálidas tropicales que se enriquecen con nutrientes por mecanismos como la Cúpula de Guinea y por las plumas fluviales cargadas de nutrientes del Amazonas y el Orinoco, este último sigue siendo discutido como motor de primer orden para mantener las floraciones de Sargazo. Dado que este viaje del punto de inflexión está fuera del Mar de los Sargazos, los restos de la floración de un año anterior se convierten en semillas la temporada siguiente. Cuando las balsas de Sargazo llegan a la orilla y comienzan a descomponerse en un plazo de 48 a 72 horas, emiten H<sub>2</sub>S que es tóxico para los seres humanos cuando se inhala. En aguas poco profundas, impiden que la luz llegue a la vegetación subacuática, incluidas las hierbas marinas. Su descomposición provoca una eutrofización localizada y modifica la dinámica trófica de las hierbas marinas y los habitantes de los arrecifes, por ejemplo, reduciendo la disponibilidad de presas en la dieta del erizo de mar herbívoro *Diadema antillarum*. La Figura 5.12 muestra la extensión del litoral del Caribe mexicano que se ve directamente afectada por la floración molesta, abarcando zonas desde el arrecife hasta los manglares.

Las algas en descomposición en la playa reducen la llegada de turistas e imponen costes de limpieza a los operadores turísticos y a los hoteles, que ya se ven comprometidos por las restricciones de viaje provocadas por la pandemia de Covid19. Los costes adicionales incluyen los gastos sanitarios, la pérdida de ingresos por turismo, los costes de transporte, la instalación y el mantenimiento de las barreras, los costes de gestión y las pérdidas de valor de las propiedades, por nombrar algunos. Varias publicaciones han explorado formas de incentivar la recogida de basuras, como su uso potencial en la biorremediación como medio de recogida para la recuperación de contaminantes, la conversión de biogás y la fabricación de fertilizantes, papel, productos de belleza, piensos para cultivos y ganado, y bioplásticos.



**Figura 5.12 Perfil de la costa del Caribe mexicano que muestra las zonas costeras impactadas, incluyendo arrecifes de coral, praderas marinas, manglares y ríos subterráneos. (Fuente: Chavez et al. 2020)**

¿Puede una estrategia de nutrientes ayudar a abordar un fenómeno climatológico hipotético como las floraciones de Sargazo pelágico? La conectividad con el clima, la circulación de la cuenca, las poderosas plumas fluviales y los vientos alisios apuntan a la necesidad de crear resiliencia entre las sociedades humanas y los ecosistemas para hacer frente a las crecientes incertidumbres que emanan de un clima cambiante. Las medidas preventivas con éxito demostrable pueden ser muy importantes. Prevenir los factores de estrés locales, como los flujos excesivos de nutrientes, cuando pueden reducirse en su origen, es un gran paso. La alternativa de seguir como hasta ahora parece igual de costosa o más.

### **5.3.9 Contaminación por nutrientes y cambio climático**

Una serie de impactos que se analizan en el capítulo 3 incluyen la aparición de patógenos procedentes de hábitats enriquecidos con nutrientes que se propagan a los seres humanos y a los huéspedes intermedios mediante el cambio de las interacciones bióticas potenciadas por el calentamiento de los regímenes térmicos. Algunos estudios pioneros destacan que entre las poblaciones humanas más vulnerables a estos patógenos se encuentran los hogares en situación de pobreza, y que caracterizan a la mayor parte de la mano de obra agrícola en ALC. A nivel de la contaminación por nutrientes, esta estrategia puede ayudar a abordar la causa de fondo, trastocando la forma en que se ha practicado la agricultura al adoptar la protección de la salud del ecosistema desde la tierra hasta el mar, como norma de oro para el diseño de políticas.

En la misma línea, la propagación de las enfermedades de los corales cuando los arrecifes se ven comprometidos por factores de estrés locales como la contaminación por nutrientes y la sobrepesca, y exacerbados por el calentamiento de las temperaturas y por la acidificación y desoxigenación de las aguas, no se resolverá únicamente con una estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes. Hacerlo contribuirá a aumentar la resiliencia de los ecosistemas.

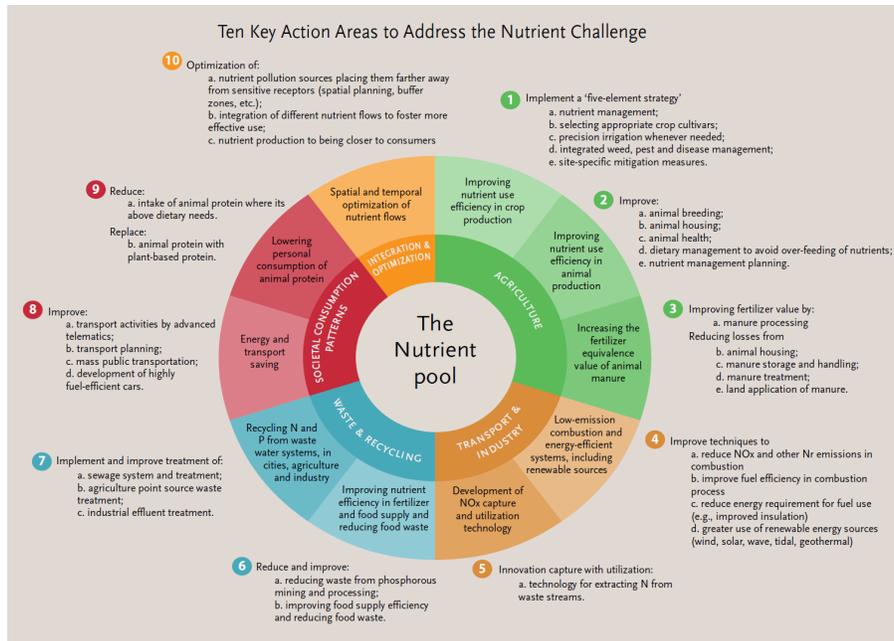
El transporte a larga distancia de micronutrientes como el hierro y de microbiomas potencialmente patógenos a través del polvo del Sahara puede intensificarse con el cambio de la climatología. Esta estrategia, si es capaz de frenar la contaminación local por nutrientes, contribuiría en gran medida a mitigar los riesgos añadidos de los factores de estrés transfronterizos.

Gestionar los riesgos de la contaminación por nutrientes en condiciones de incertidumbre, y elegir acciones estratégicas basadas en un análisis de costes y beneficios realista, aunque parcial, haciendo que las compensaciones sean explícitas y transparentes en la medida de lo posible, es lo que este documento espera conseguir a largo plazo.

## **5.4 ALCANCE Y ESTRUCTURA DEL RNPRSAP**

### **5.4.1 Ámbito de aplicación**

La contaminación por nutrientes se origina en una gran diversidad de sectores y fuentes, impulsada por diversos factores, como los modelos y prácticas de producción y consumo de la sociedad, así como la gestión inadecuada de los residuos. En el marco del proyecto del FMAM "Fundamentos mundiales para reducir el enriquecimiento de nutrientes y el agotamiento del oxígeno procedentes de la contaminación terrestre, en apoyo del ciclo mundial de los nutrientes" (proyecto GNC), los flujos (pérdidas) de nutrientes se atribuyen a dos vías principales: la vía agroalimentaria y la vía de la energía y el transporte, que también incorporan las pautas de consumo de la sociedad (figura 5.13). Se han identificado diez áreas de acción clave para reducir las pérdidas de nutrientes en estas vías (Sutton et al., 2013).



**Figura 5.13 Ten key action areas to address the nutrient challenge, Sutton et al., 2013 (Preparado por GRID-Arendal para el proyecto FMAM/UNEP Global Nutrient Cycle).**

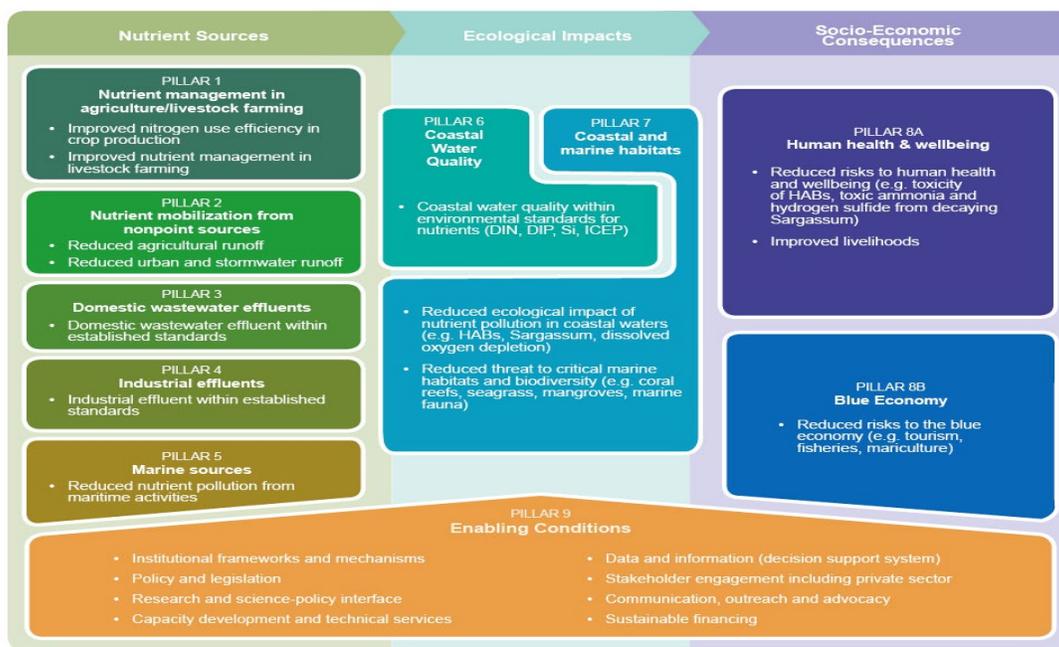
El RNRSAP se basa en las conclusiones y recomendaciones del proyecto GNC e incorpora muchas de las acciones clave para abordar la contaminación por nutrientes. Sin embargo, el ámbito de aplicación de la RNRSAP está definido por el Convenio de Cartagena y sus protocolos, en particular el Protocolo FTCM, y se centra en las principales fuentes terrestres y marítimas de contaminación por nutrientes de la zona del Convenio (el Gran Caribe). Como se ha comentado en el capítulo 2, estas fuentes son la agricultura, las aguas residuales domésticas e industriales y las aguas residuales de las actividades marítimas (cruceros, embarcaciones de recreo y buques de carga). La estrategia no aborda la vía de la energía y el transporte, ya que está fuera del ámbito de la Convención y se aborda en otros marcos como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Las pautas de consumo de la sociedad (elecciones alimentarias) pueden abordarse en colaboración con los organismos pertinentes, como la FAO. En vista de la naturaleza multifacética de los impulsores, las causas y los impactos de la contaminación por nutrientes, está claro que un enfoque holístico, integrado y coordinado es esencial para garantizar los beneficios sociales, económicos y ambientales en todo el espectro del desafío de los nutrientes. Además, este enfoque puede ser potencialmente beneficioso para los esfuerzos por abordar otros problemas de contaminación marina, como los plásticos y otros productos químicos (por ejemplo, mediante la reducción de la escorrentía).

Además del Convenio de Cartagena y el Protocolo FTCM, el RNRSAP también responde y apoya la Estrategia Regional del PNUMA para el Medio Ambiente del Caribe (PAC) para la protección y el desarrollo del medio ambiente marino de la RGC, las declaraciones pertinentes de la UNEA, en particular la Declaración 4/14 sobre la gestión sostenible del nitrógeno, la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, los Programas de Mares Regionales, las Modalidades de Acción Acelerada de los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (Senda de SAMOA), el Marco Global de Biodiversidad Post-2020 del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), entre otros.

El ámbito geográfico del RNPRSAP es el Golfo de México, el Caribe y la plataforma del norte de Brasil, centrándose en las principales fuentes terrestres y marítimas de contaminación por nutrientes en estos LME.

### 5.4.2 Estructura

La estrategia regional de reducción de nutrientes se centra en nueve pilares, cada uno de ellos con objetivos específicos y metas e indicadores asociados. Hay 14 objetivos principales, así como ocho sub-objetivos en el marco del pilar 9, relativo a las condiciones favorables. En la figura 5.14 se ofrece una visión general de los pilares y los objetivos asociados.



**Figura 5.14 Estructura de la estrategia de reducción de la contaminación por nutrientes de la RGC que muestra los nueve pilares y los objetivos asociados. Véase el texto para más detalles.**

Los pilares 1 a 8 abarcan todo el espectro del problema de los nutrientes, desde los aportes de nutrientes procedentes de los sectores terrestre y marítimo, hasta su pérdida a través de las principales fuentes puntuales y no puntuales en los sistemas acuáticos, y los impactos ecológicos asociados en las aguas costeras y las consecuencias para el bienestar humano y las economías. El pilar 9 prevé el establecimiento de las condiciones propicias necesarias para la aplicación con éxito de la estrategia. También se tienen en cuenta los beneficios del uso óptimo de los fertilizantes (pilar 1) en términos de aumento del rendimiento de los cultivos y ahorro de costes por un uso más eficiente de los fertilizantes, así como los beneficios de la recuperación de nutrientes y el reciclaje y reutilización de residuos.

A la hora de aplicar la estrategia deben tenerse en cuenta cuestiones emergentes como los efectos del cambio climático en la contaminación por nutrientes y la respuesta de los ecosistemas acuáticos a la interacción entre múltiples factores de estrés. Los ecosistemas costeros y marinos ya degradados son menos resistentes a los impactos del cambio climático, como la decoloración del coral. Una consideración importante será el impacto del cambio climático en la producción agrícola y en los procesos (por ejemplo, los patrones de lluvia y la erosión del suelo) que influyen en la entrega de nutrientes a los sistemas

acuáticos, incluyendo las aguas costeras en la Región del Gran Caribe. Es importante evaluar cómo el cambio climático afecta específicamente a la descarga de nutrientes y a los impactos a escala regional e incluso nacional. Por lo tanto, un enfoque integrado y holístico de la aplicación de esta estrategia podría considerarse también una medida de adaptación al cambio climático.

Se incluye una breve descripción genérica del tipo de estrategias y BMP para lograr cada objetivo. Los detalles de las principales estrategias y los BMP se encuentran en el Compendio de los BMP del Anexo 5.2, la base de datos de los BMP del GPNM (<http://nutrientchallenge.org/bmp-database>), y otras publicaciones (Anexo 5.2). La mayoría de las intervenciones (reducción del estrés) son apropiadas a nivel nacional/local, donde se origina la contaminación por nutrientes, mientras que otras son apropiadas a nivel subregional y regional. Esto último se refiere principalmente a las dimensiones transfronterizas y al pilar 9 (condiciones propicias a nivel regional). Todos los pilares y objetivos (o la combinación adecuada de los mismos) deberían incorporarse a los planes de acción nacionales para reducir la contaminación por nutrientes mediante prácticas más sostenibles de agricultura y gestión de residuos (véase el marco de acción en la sección 5.7).

Junto con la Figura 5.14, la Tabla 5.9 ofrece una visión general de la estructura de la estrategia regional en términos de las Metas de los ODS asociadas a los Objetivos específicos. La mayoría de las Metas están alineadas con los ODS (en particular con los ODS 6 y 14) y con las Metas, así como con el Protocolo FTCM. Otras metas relevantes provienen del Marco Global de Biodiversidad Post-2020 del CDB y de la CNUCLD. Es posible que los objetivos e indicadores mundiales deban adaptarse a la escala adecuada (local, nacional, subregional, regional) para la aplicación de la estrategia. Además, los objetivos y las medidas para reducir la contaminación por nutrientes deben estar en sinergia con los reglamentos y directrices existentes y aprobados a nivel nacional, reconociendo al mismo tiempo la necesidad de armonización a nivel regional, según proceda.

**Tabla 5.9 Objetivos y metas de los ODS para los pilares 1 a 8.**

	PILARES		OBJETIVOS	2.4	3.9	6.3	6.6	11.6	11.7	12.3	12.4	12.5	14.1	14.2	15.2	15.3
1	Gestión de nutrientes en la agricultura/ganadería	1.1	Mejora de la eficiencia del uso del nitrógeno en la producción de cultivos (reducir a la mitad el desperdicio de nitrógeno)	✓						✓			✓			
		1.2	Mejora de la gestión de los nutrientes en la ganadería													
2	Movilización de nutrientes desde fuentes no puntuales	2.1	Reducción de la escorrentía agrícola	✓											✓	✓
		2.2	Reducción de la escorrentía urbana y pluvial					✓	✓							
3	Efluentes de aguas residuales domésticas	3.1	Efluentes de aguas residuales domésticas dentro de las normas establecidas (límites de SST del Anexo III del FTCM)			✓										
4	Efluentes industriales	4.1	Efluentes industriales dentro de las normas establecidas			✓					✓	✓				
5	Fuentes marinas	5.1	Reducción de la contaminación													

			por nutrientes de las actividades marítimas													
6	Calidad de las aguas costeras	6.1	Calidad de las aguas costeras dentro de las normas ambientales para los nutrientes			✓							✓			
7	Hábitats costeros y marinos	7.1	Reducción del impacto ecológico de la contaminación por nutrientes en las aguas costeras			✓	✓						✓			
		7.2	Reducción de la amenaza para los hábitats marinos críticos y la biodiversidad			✓	✓						✓			
8a	Salud y bienestar humanos	8.1	Reducción de los riesgos para la salud y el bienestar humanos		✓											
		8.2	Mejora de los medios de vida													
8b	Economía azul	8.3	Reducción de los riesgos para la economía azul													

A continuación, se describen los nueve pilares y sus correspondientes objetivos, metas e indicadores.

## 5.5 PILARES, OBJETIVOS, METAS E INDICADORES

### 5.5.1 Pilar 1: Gestión sostenible de los nutrientes en la producción agrícola y ganadera

El Anexo IV del Protocolo FTCM del Convenio de Cartagena identifica las "fuentes de contaminación agrícolas no puntuales" como la contaminación originada por los cultivos y la cría de animales domésticos, excluyendo las operaciones de cría intensiva de animales que de otro modo se definirían como fuentes puntuales. Este anexo exige a cada Parte Contratante que formule políticas, planes, mecanismos jurídicos y programas para mitigar la contaminación del área del Convenio procedente de fuentes de contaminación agrícolas no puntuales, especialmente si estas fuentes contienen nutrientes (nitrógeno y fósforo) y sedimentos, entre otros contaminantes que pueden afectar negativamente al área del Convenio.

#### **Objetivo 1.1. Mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno (nutrientes) en la producción de cultivos (reducir a la mitad los residuos de nitrógeno de todas las fuentes para 2030).**

Las mejoras en la eficiencia del uso del nitrógeno (o de los nutrientes) en la producción de cultivos, es decir, la fracción de la entrada de N cosechada como producto, son fundamentales para abordar el triple desafío de la seguridad alimentaria, la degradación del medio ambiente y el cambio climático (Zhang et al., 2015). Mejorar **la eficiencia del uso de nitrógeno (NUE)** en la producción de cultivos es una estrategia en la que todos ganan, ya que tiene como objetivo aumentar la producción de cultivos, contribuyendo así a la seguridad alimentaria, al tiempo que se minimizan las pérdidas de nutrientes y, en última instancia, la eutrofización y sus impactos (Sutton et al., 2013; Davidson et al., 2015). En Sutton et al. (2013) (Anexo 5.3) se ofrecen estimaciones de la NUE, incluida una referencia de 2008, para los distintos países de la Región del Gran Caribe. El presupuesto de N y la NUE en la producción de cultivos para Brasil y ALC (sin Brasil) se muestran en la Tabla 5.10.

**Tabla 5.10 Presupuesto de N y NUE en la producción de cultivos para Brasil y ALC (sin Brasil) en 2010 y proyectado para 2050 (Zhang et al. 2015).**

País/región	2010				2050			
	Cosecha N (Tg N yr <sup>-1</sup> )	Entrada N (Tg N yr <sup>-1</sup> )	NUE	Excedente N (Tg N yr <sup>-1</sup> )	Cosecha prevista N* (Tg N yr <sup>-1</sup> )	NUE Meta	Entrada requerida N (Tg N yr <sup>-1</sup> )	Excedente resultante N (Tg N yr <sup>-1</sup> )
ALC menos Brasil	7	12	<b>0.52</b>	6	10	<b>0.70</b>	15	4
Brasil**	6	11	<b>0.53</b>	5	10	<b>0.70</b>	15	4

\*\* El informe de Brasil (Universidad de Pará, 2020) sobre la escorrentía de agroquímicos en la cuenca hidrográfica del Amazonas afirma que en 2019 se utilizaron en la cuenca unos 9,7 millones de toneladas de fertilizantes (principalmente NPK), de los cuales se pierden en el medio ambiente unas 96.655 toneladas (suponiendo que aproximadamente el 1% se pierde por escorrentía). El amoníaco y el cloruro de potasio son los principales residuos en los suelos y el agua de esta cuenca.

Un análisis de las tendencias de la NUE en varios países de la Región del Gran Caribe mostró que la NUE disminuyó con el aumento de los aportes totales de N en todos los países (Lassaletta et al., 2014; Capítulo 2). Como se ha analizado en el capítulo 2, esta disminución de la NUE se traduce en un aumento del

excedente de N, que es la carga potencial de nutrientes contaminantes. Además, aunque en muchos de los países se produjo una mejora significativa de la NUE después de la década de 1980, un nuevo aumento de la fertilización nitrogenada daría lugar a un incremento desproporcionado de la producción de cultivos con mayores alteraciones medioambientales, a menos que se mejore sustancialmente la eficiencia de los sistemas de cultivo.

Además del uso excesivo de fertilizantes, los plaguicidas agrícolas, como los organofosforados, pueden ser otra fuente de contaminación por nutrientes. Sin embargo, no se dispone de información sobre la contribución de los plaguicidas a la contaminación por nutrientes de los sistemas acuáticos en la Región del Gran Caribe, que debe ser evaluada. No obstante, la reducción del uso de plaguicidas en la agricultura debería incorporarse a un enfoque holístico para lograr una agricultura más sostenible, debido a sus efectos adversos sobre la salud del suelo, que en última instancia es la base de la productividad de las tierras de cultivo, y a su toxicidad para los seres humanos y otras biotas (véase el capítulo 2).

### Objetivos e indicadores relacionados con la NUE

La Declaración de Colombo pide a los países que "reduzcan a la mitad los residuos de nitrógeno para 2030", lo que complementa el objetivo de reducción por parte de los países de sus respectivas NUE en un 20% para 2020. En el anexo 5.3 se muestran las estimaciones de la NUE de los cultivos y la NUE de la cadena completa de los países de la Región del Gran Caribe para 2008 (base de referencia), en comparación con el objetivo al que se aspira para 2020, basado en una mejora relativa del 20% con respecto a los valores de 2008 (Sutton et al., 2013). Los países de la Región del Gran Caribe están por debajo de los valores objetivo a largo plazo para la NUE de cultivos eventuales del 70% y la NUE de cadenas completas del 50%. Se estima que los países que ya superan estos umbrales sufren una importante extracción de nutrientes del suelo, bajos niveles de productividad de los cultivos e inseguridad alimentaria.

En la Tabla 5.11 se presentan los objetivos e indicadores globales que son relevantes para la gestión de nutrientes. Tres son metas e indicadores de los ODS. Una de las metas propuestas (la meta 17) en el marco de la biodiversidad mundial posterior a 2020 del CDB (que se espera que se adopte en la Conferencia de las Partes del CDB 15 en 2021) se refiere a la eliminación de las subvenciones perjudiciales para el medio ambiente en varios sectores, incluida la agricultura. Deberían establecerse otras metas e indicadores para los beneficios socioeconómicos derivados de la mejora de la NUE, como el aumento del rendimiento de los cultivos y los ingresos asociados, los costes económicos y los medios de vida.

**Tabla 5.11 Objetivos e indicadores relacionados con la gestión de nutrientes.**

Objetivo	Indicador
Meta 2.4 de los ODS: Para 2030, garantizar sistemas sostenibles de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, que ayuden a mantener los ecosistemas, que refuercen la capacidad de adaptación al cambio climático, a las condiciones meteorológicas extremas, a la sequía, a las inundaciones y a otras catástrofes, y que mejoren progresivamente la calidad de la tierra y del suelo.	Subindicador del ODS 2.4.1: Proporción de la superficie agrícola dedicada a la agricultura productiva y sostenible.  Indicador: Índice de gestión sostenible del nitrógeno, que combina dos medidas de eficiencia en la producción de cultivos: NUE y la eficiencia del uso de la tierra (rendimiento de los cultivos) (Zhang y Davidson 2019).
Índice de Gestión Sostenible del Nitrógeno (SNMI): El objetivo a largo plazo es un valor de 0 para 2030.	El tablero de mando de los ODS (2020) muestra que ninguno de los países de ALC (de los que se dispone de

	datos) había alcanzado la meta de cero para este indicador en 2015 ( <a href="https://dashboards.sdgindex.org/explorer/sdg2_snmi">https://dashboards.sdgindex.org/explorer/sdg2_snmi</a> )
ODS 2.3.1. Al menos cuatro medidas específicas de gestión de nutrientes adoptadas para mitigar los riesgos ambientales (FAO 2020).	Indicador complementario de la CEPAL (CEPAL 2018): Intensidad de uso de fertilizantes (consumo aparente por superficie cultivada)  Manejo de fertilizantes (Riesgo de contaminación por fertilizantes; subindicador relacionado sobre Salud del suelo).
ODS 12. Emisiones de nitrógeno basadas en la producción: El objetivo a largo plazo es un valor de 2 para 2030.	Emisiones de nitrógeno basadas en la producción: Nitrógeno reactivo emitido durante la producción de productos básicos, que luego se exportan o se consumen en el país. Corresponde a las emisiones de amoníaco, óxidos de nitrógeno y óxido nitroso a la atmósfera, y de nitrógeno reactivo potencialmente exportable a las masas de agua.
Declaración de Colombo sobre la gestión sostenible de los nutrientes: Reducir a la mitad los residuos de nitrógeno de todas las fuentes para 2030.	El objetivo de reducir el desperdicio de nitrógeno en una cantidad estándar ofrece un enfoque más equitativo, según el cual los países que actualmente desperdician más nitrógeno tendrían que tomar medidas más ambiciosas. Por ejemplo, en un país que desperdicia el 80%, para reducir a la mitad el desperdicio de nitrógeno en toda la economía habría que reducir las pérdidas totales de nitrógeno de todas las fuentes al 40% de los insumos (reducción absoluta del 40%). En cambio, un país que desperdicie solo el 50% necesitaría una reducción absoluta del 25% (Sutton et al., 2013).
GPNM: Cada país tiene como objetivo mejorar su NUE de cultivos y su NUE de la cadena completa en un 20% como paso para alcanzar un objetivo eventual de NUE de cultivos de al menos el 70% y una NUE de la cadena completa del 50% en relación con su línea de base, para el año 2020 (Véase el Anexo 5.3 con NUE para los países RGC). Nota: El plazo de 2020 se revisará.	NUE de los cultivos: los nutrientes en los cultivos cosechados en un país como porcentaje del total de los aportes de nutrientes a ese país (suma de los aportes de fertilizantes minerales más la fijación biológica del nitrógeno en los cultivos). NUE de cadena completa: los nutrientes en los alimentos disponibles para el consumo humano en un país como porcentaje de los aportes totales de nutrientes a ese país (suma de los aportes de fertilizantes, la fijación biológica del nitrógeno en los cultivos y la hierba, y la importación en fertilizantes, piensos y alimentos).
Meta 17 (Marco Mundial para la Diversidad Biológica después de 2020): Para 2030, reorientar, reorientar, reformar o eliminar los incentivos perjudiciales para la biodiversidad, incluida [X] la reducción de las subvenciones más perjudiciales, garantizando que los incentivos, incluidos los incentivos económicos y reglamentarios públicos y privados, sean positivos o neutros para la biodiversidad	17.0.2 Elementos potencialmente perjudiciales del apoyo gubernamental a la agricultura (subvenciones perjudiciales para el medio ambiente) como porcentaje del PIB.
Objetivos socioeconómicos (mejoras en el rendimiento de los cultivos, ingresos, ahorro de costes, etc.)	Rendimiento de los cultivos, ingresos, costes (anuales)

Pueden añadirse objetivos e hitos adicionales a medida que se establezcan nuevos objetivos de reducción de nutrientes para las aguas abajo o que nuevas investigaciones y políticas informen la planificación y la toma de decisiones.

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para optimizar la NUE**

Para alcanzar los objetivos de la NUE y, al mismo tiempo, aumentar los rendimientos, es necesario aplicar tecnologías y prácticas de gestión que optimicen la NUE a escala de la explotación. El objetivo es ajustar el suministro de nutrientes a las necesidades de los cultivos y minimizar las pérdidas de nutrientes en el campo. Los enfoques disponibles para mejorar la NUE de los cultivos se describen en el Compendio de BMP (Anexo 5.2) y en la base de datos de mejores prácticas de gestión (BMP) del GPNM (<http://nutrientchallenge.org/bmp-database>). Algunos principios comunes incluyen el enfoque de administración de la gestión de nutrientes de las "4R", que consiste en aplicar el fertilizante correcto, la dosis correcta, el momento correcto de aplicación y la colocación correcta. Las tecnologías y las prácticas de gestión relacionadas con las "4R" varían según la región y dependen de los sistemas de cultivo locales, la escala de cultivo, los tipos de suelo, el clima y las condiciones socioeconómicas, entre otros. Otras prácticas agronómicas y de conservación, como la siembra directa y el uso de cultivos de cobertura, apoyan la gestión de nutrientes de las "4R". La formación de los agricultores a pequeña y gran escala en el enfoque de las "4R" y otras BMP será vital para mejorar la eficiencia de los nutrientes y optimizar la producción de los cultivos, reduciendo al mismo tiempo las pérdidas de nutrientes en el medio ambiente. Esto también implica una fuerte colaboración entre PNUMA-PAC y la FAO, en consonancia con el Anexo IV del Protocolo FTCM. Otras opciones para reducir la contaminación no puntual que emana de la liberación de N y P de los fertilizantes (y de las aguas residuales) incluyen la recuperación y el reciclaje de nutrientes, para lo cual hay una serie de tecnologías disponibles (véase Ahmed et al., 2019 para una revisión).

### ***Objetivo 1.2. Mejorar la gestión de los nutrientes en la ganadería.***

El ANEXO I del Protocolo FTCM (Categorías de fuentes, actividades y contaminantes asociados) identifica las operaciones de cría intensiva de animales entre las categorías de fuentes y actividades prioritarias que afectan a la zona del Convenio. Sin embargo, no especifica los contaminantes que deben abordarse. El Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación de las FTCM consideró que las operaciones de cría intensiva de animales (en islas pequeñas) eran de prioridad media para el SOCAR.

La mayor parte del agua utilizada para la bebida y el servicio del ganado vuelve al medio ambiente en forma de estiércol líquido, purines, aguas grises y aguas residuales, siendo el estiércol animal una fuente primaria de flujos de N y P hacia las aguas superficiales y subterráneas (US EPA, 2017). El uso de estiércol animal para fertilizar los cultivos es otra importante fuente no puntual de nutrientes. América Latina tiene la segunda mayor tasa de contribución del estiércol a la fertilización de los cultivos (73%) después de África (84%) (FAO, 2018). Las estimaciones de las pérdidas anuales de N y P en los cursos de agua dulce procedentes del estiércol animal en las tierras de cultivo y los pastos en América Central y del Sur (cuadro 5.12) ascienden a 720 000 toneladas de N y 102 000 toneladas de P (FAO e IWMI, 2018). Hay que tener en cuenta que estas estimaciones no distinguen los cursos de agua dulce que descargan en la RGC.

**Tabla 5.12 Pérdidas de N y P a los cursos de agua dulce procedentes del estiércol animal en tierras de cultivo y pastos, en miles de toneladas (valores redondeados) (FAO e IWMI, 2018).**

Subregión	Cultivo		Pasto		Pérdidas en los cursos de agua dulce	
	N	P	N	P	N	P
América Central	351	192	351	22	176	26
América del Sur	1,052	577	1,051	59	526	76
<b>Total</b>					<b>702</b>	<b>102</b>

### Objetivos e indicadores

No hay objetivos nacionales ni regionales explícitos para la ganadería. Sin embargo, algunas de las metas de los objetivos 1.1 y 1.2 son relevantes para este objetivo.

### Estrategias y mejores prácticas de gestión para minimizar las pérdidas de nutrientes de la ganadería.

Entre las medidas para reducir las emisiones de nutrientes de las explotaciones ganaderas se encuentran la gestión de la dieta (mantener el exceso de N y P fuera de los piensos para reducir los niveles en los estiércoles) y del pastoreo (silvopastoreo), la gestión del estiércol y de los residuos en combinación con la gestión de los nutrientes, y la agricultura integrada. Se necesitan técnicas tradicionales como la restauración de los pastizales degradados y una mejor gestión de las dietas de los animales y de los aditivos de los piensos, mientras que deben redoblar los esfuerzos en las nuevas técnicas y tecnologías de reciclaje de nutrientes, como los biodigestores de residuos agrícolas. Cuando se integran estrechamente en el sistema agrícola, los biodigestores no solo reducen la contaminación por nutrientes, sino que tienen un valor añadido, como el de proporcionar combustible limpio para cocinar y alumbrar (reduciendo así la necesidad de leña y sus impactos ambientales y sobre la salud humana, este último especialmente importante para las mujeres y los niños), la reducción de la emisión de metano (un gas de efecto invernadero) a la atmósfera, la producción de biosólidos (un fertilizante orgánico líquido), la reducción de los costes de producción agrícola y el aumento de la productividad de los agricultores (Banco Mundial, 2019).

Véase el compendio de BMP (anexo 5.2) y la base de datos de BMP de la GPNM y los estudios de caso (por ejemplo, el estudio de caso nº 2: gestión del estiércol).

### 5.5.2 Pilar 2. Movilización de nutrientes desde fuentes no puntuales

Este pilar aborda la movilización de nutrientes desde fuentes terrestres no puntuales (agricultura y escorrentía urbana/tormenta) a los sistemas acuáticos (ríos, aguas subterráneas y aguas costeras). Las vías típicas de contaminación por nutrientes procedentes de fuentes no puntuales son: i) de la solución del suelo a la percolación profunda y la recarga de las aguas subterráneas; ii) de la erosión natural o inducida por el hombre del suelo; y iii) de la escorrentía, el agua de drenaje y las inundaciones a los arroyos, ríos y estuarios.

#### **Objetivo 2.1. Reducir la escorrentía agrícola**

Los cultivos y los pastizales por sí solos son responsables de la movilización de importantes cantidades de sedimentos cada año, gran parte de los cuales terminan en las masas de agua (FAO, 2018). Los vertidos de sedimentos a la RGC están asociados a la erosión de las tierras dentro de las cuencas hidrográficas

debido a la deforestación, la urbanización y las actividades agrícolas, como el desbroce de tierras y el uso incorrecto de las técnicas de cultivo (PNUMA-PAC, 2010). Además, el sobrepastoreo del ganado ha provocado una importante erosión del suelo y una degradación general de la tierra en la región (CCA e IRF, 1991). Aunque se considera que los ríos son el principal punto de entrada de nutrientes a las aguas costeras (véase el capítulo 2), las entradas de nitrógeno procedentes de las aguas subterráneas de las tierras agrícolas dominan en todas las subregiones, excepto en la subregión II, donde predomina la escorrentía superficial agrícola. La naturaleza predominantemente kárstica de algunos acuíferos subterráneos costeros, que descargan directamente en las aguas costeras, contribuye probablemente a la contaminación de las aguas costeras.

### **Objetivos e indicadores**

Mientras que los países de la Región del Caribe han adoptado normas sobre nutrientes (nitratos y fosfatos) para el agua potable (debido al riesgo para la salud humana) y la calidad de las aguas costeras (aguas recreativas), no existen criterios, normas y límites permisibles regionales para las cargas de nutrientes vertidas desde fuentes puntuales y no puntuales. Es importante garantizar que los objetivos de gestión sean coherentes entre países y categorías de agua, especialmente para la gestión de masas de agua transfronterizas. Deben determinarse las cargas totales admisibles de N y P de cada cuenca prioritaria para estimar el objetivo de reducción de carga para la cuenca. Además, las cargas permitidas de fuentes puntuales y no puntuales deben vincularse con los criterios de calidad del agua del entorno como parte de una estrategia de gestión integrada de las cuencas (basada en la modelización predictiva, para la que es necesario reforzar la capacidad). Es importante que los límites de las descargas se vinculen con las normas de calidad del agua marina que son relevantes para los umbrales ecológicos de los ecosistemas marinos receptores (Tosic et al., 2019 y referencias en él). Se han desarrollado varios métodos con base científica para vincular los objetivos de calidad del agua para los vertidos terrestres y las aguas marinas.

La Ley de Agua Limpia de los Estados Unidos utiliza las cargas máximas diarias totales (TMDL), que son cálculos de las reducciones de carga de un contaminante necesarias para que la masa de agua cumpla y siga cumpliendo las normas de calidad del agua para ese contaminante concreto (<https://www.epa.gov/tmdl/overview-total-maximum-daily-loads-tmdls>). Una TMDL determina un objetivo de reducción de contaminantes y asigna las reducciones de carga necesarias a las fuentes puntuales y no puntuales del contaminante. Es importante señalar que el programa federal de EE.UU. no regula los vertidos de fuentes no puntuales.

Se han adoptado varios objetivos e indicadores que son relevantes para procesos como la deforestación y la degradación de la tierra que pueden promover el transporte de nutrientes a los sistemas acuáticos (Tabla 5.13). Dos de ellas son metas de los ODS relacionadas con la protección de los bosques, lo que es importante para reducir la erosión del suelo y la escorrentía. Otras metas relevantes de los ODS son las 6.3, 6.6, 14.1 y 14.2, que se abordan en otros pilares. Como complemento de las Metas de los ODS están los Objetivos Estratégicos (OE) y los Impactos Esperados de la CNULD, en particular el OE 1 (Mejorar la condición de los ecosistemas afectados, combatir la desertificación/degradación de la tierra, promover la gestión sostenible de la tierra y contribuir a la neutralidad de la degradación de la tierra) y sus cuatro Impactos Esperados (La productividad de la tierra y los servicios de los ecosistemas relacionados se mantienen o mejoran; Se reduce la vulnerabilidad de los ecosistemas afectados y se incrementa la resiliencia de los ecosistemas; Se fijan objetivos nacionales voluntarios de neutralidad de la degradación de la tierra y son adoptados por los países que desean hacerlo, se identifican y aplican las medidas conexas y se establecen los sistemas de seguimiento necesarios; y Se comparten, promueven y aplican medidas para la gestión sostenible de la tierra y la lucha contra la desertificación/degradación de la tierra).

**Tabla 5.13 . Objetivos e indicadores relacionados con los procesos que promueven la transmisión de nutrientes a los sistemas acuáticos desde fuentes no puntuales.**

Objetivo	Indicador
Meta 2.4 de los ODS: Para 2030, garantizar sistemas sostenibles de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, que ayuden a mantener los ecosistemas, que refuercen la capacidad de adaptación al cambio climático, a las condiciones meteorológicas extremas, a la sequía, a las inundaciones y a otros desastres, y que mejoren progresivamente la calidad de la tierra y del suelo.	Subindicador de 2.4.1: Prevalencia de la degradación del suelo: La superficie combinada afectada por cualquiera de las cuatro amenazas seleccionadas (erosión del suelo, reducción de la fertilidad del suelo, salinización de las tierras de regadío, anegamiento a la salud del suelo) es insignificante (menos del 10% de la superficie agrícola total de la explotación) (FAO 2020).
Meta 15.2 de los ODS: Para 2020, promover la aplicación de la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, detener la deforestación, restaurar los bosques degradados y aumentar considerablemente la forestación y la reforestación en todo el mundo. Nota: El plazo de 2020 debe ser revisado.	Indicador: 15.2.1 Progreso hacia la gestión forestal sostenible (prevención de la erosión y la pérdida de nutrientes).
Meta 15.3 de los ODS: Para 2030, combatir la desertificación, restaurar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y esforzarse por lograr un mundo sin degradación de la tierra.	Indicador 15.3.1: Proporción de tierras degradadas sobre la superficie total de la tierra (indicador complementario, CEPAL 2018)
OE 1 de la CMNUCC: Mejorar la condición de los ecosistemas afectados, combatir la desertificación/degradación de la tierra, promover la gestión sostenible de la tierra y contribuir a la neutralidad de la degradación de la tierra.	SO 1-1: Tendencias de la cubierta terrestre. SO 1-2: Tendencias de la productividad de la tierra o del funcionamiento de la misma. SO 1-3: Tendencias de las reservas de carbono por encima y por debajo del suelo.

**Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir la movilización de nutrientes a los sistemas acuáticos.**

El uso adecuado de la tierra y la gestión del agua son fundamentales para minimizar la filtración de aguas subterráneas y la escorrentía de la agricultura, reduciendo la degradación/erosión de la tierra y la producción de sedimentos. Las mejores prácticas ambientales (BEP)\* y las BMP que dan lugar a una mejora de moderada a sustancial incluyen:

- Soluciones basadas en la naturaleza/ingeniería verde: por ejemplo, restauración/creación de humedales\*; zonas de amortiguación ribereñas de bosque y hierba\* (zonas de amortiguación con vegetación y sin fertilizar junto a los cursos de agua).
- Controlar la pérdida de suelo: gestión de la labranza - evitar las operaciones convencionales de labranza (arado), incluso en las laderas; labranza de conservación\* (plantación, cultivo y cosecha

de cultivos con una alteración mínima de la superficie del suelo mediante el uso de labranza mínima, labranza con mantillo, labranza de cresta o sin labranza; cubierta vegetal, incluidos los cultivos de cobertura\*; gestión del pastoreo del ganado\*; cuenca de sedimentos.

Algunas de estas medidas ofrecen oportunidades para la generación de ingresos adicionales/producción de alimentos, por ejemplo, el cultivo de otras cosechas como cobertura entre los cultivos principales. Otra estrategia en la que todos salen ganando son los programas de pago por servicios ecosistémicos (PSA), en los que se ofrecen incentivos a los agricultores para que produzcan una combinación de servicios ecosistémicos mediante la adopción de prácticas más sostenibles (FAO, 2007). Estos programas también pueden contribuir a la reducción de la pobreza y a la seguridad alimentaria en las zonas rurales.

Entre los instrumentos políticos para reducir la contaminación por nutrientes procedente de fuentes agrícolas difusas se encuentra el comercio de la calidad del agua. Sin embargo, Stephenson y Shabman (2017) sostienen que los economistas deben articular más claramente las limitaciones de los programas actuales y propuestos de comercio de calidad del agua y sugieren que será necesaria una nueva generación de políticas de incentivos basadas en el mercado para lograr un progreso significativo en la reducción de las cargas de fuentes agrícolas no puntuales.

Véase el compendio de BMP en el anexo 5.2, los estudios de caso del proyecto Ciclo Global de Nutrientes (GNC) del FMAM (por ejemplo, la bahía de Manila), la base de datos de BMP de la GPNM, los informes técnicos 32 (control de sedimentos en el Caribe insular) y 41 (mejores prácticas de gestión para fuentes de contaminación agrícolas no puntuales) del PNUMA.

### ***Objetivo 2.2. Reducción de la escorrentía urbana y pluvial***

Otra fuente no puntual de nutrientes y otros contaminantes es la escorrentía urbana/tormenta, aunque el aporte de nutrientes de esta fuente no se ha cuantificado para la región. Uno de los impactos más graves de la urbanización se debe a la rapidez con la que los sedimentos, nutrientes, residuos y otros contaminantes, tanto de las zonas altas como de las zonas costeras bajas, fluyen en pulsos episódicos hacia los humedales, ríos, estuarios y ecosistemas marinos a través de la escorrentía (PNUMA-PAC, 2019). Otra preocupación relacionada con la escorrentía urbana y de aguas pluviales es la emisión de residuos domésticos y aguas residuales procedentes de alcantarillas abiertas, letrinas de pozo y fosas sépticas durante las inundaciones o en zonas bajas con niveles freáticos altos.

Los cambios en los patrones de precipitación con el cambio climático, especialmente el aumento de las precipitaciones anuales (incluyendo los eventos de lluvia extrema) en algunas áreas, exacerbarán la escorrentía en ausencia de medidas adecuadas para frenar la escorrentía. Por otra parte, en algunos países y territorios, la reducción de las precipitaciones está provocando un aumento de la concentración de nutrientes en los ríos, lo que aumenta las condiciones para el crecimiento de algas, la mala calidad del agua y, en casos extremos, la muerte de peces (IMA, 2020).

### **Objetivos e indicadores**

Dos metas de los ODS bajo el ODS 11 se relacionan con las áreas urbanas, aunque no abordan explícitamente los nutrientes en la escorrentía urbana/pluvial (Tabla 5.14). Deben desarrollarse objetivos e indicadores apropiados relacionados con los nutrientes en la escorrentía urbana/pluvial para el RNRSAP, en el marco del Protocolo FTGM.

**Tabla 5.14. Objetivos e indicadores relacionados con la escorrentía urbana/pluvial.**

Objetivo	Indicador
Meta 11.6 de los ODS. Para 2030, reducir el impacto ambiental adverso per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y a la gestión de los residuos municipales y de otro tipo.	11.6.1. Proporción de residuos sólidos urbanos recogidos y gestionados en instalaciones controladas sobre el total de residuos urbanos generados, por ciudades. 11.6.2. Niveles medios anuales de partículas finas en las ciudades (ponderados por la población).
Meta 11.7 de los ODS. Para 2030, proporcionar acceso universal a espacios verdes y públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas mayores y las personas con discapacidad.	Indicador ODS 11.7.1. Porcentaje medio de la superficie construida de las ciudades que es espacio abierto de uso público para todos, por sexo, edad y personas con discapacidad. Otros: Proporción de áreas construidas y verdes

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir la escorrentía urbana/pluvial**

Entre las soluciones para hacer frente a la escorrentía procedente de las superficies pavimentadas se encuentran técnicas como la "infraestructura verde", por ejemplo, el parque urbano de aguas pluviales ("ciudades esponja"), los tejados y muros verdes, las plantaciones en los bordes de las carreteras, los parques ajardinados, los pavimentos permeables, los aparcamientos pixelados, la agricultura urbana y otras franjas de amortiguación con vegetación colocadas dentro de las zonas urbanas. La retención y la detención de la escorrentía incluyen la captura de la escorrentía en lagunas y otras estructuras para su reutilización/reciclaje para el riego y otros usos. Estas técnicas pueden ser costosas inicialmente, pero a largo plazo "volverse verde" puede ser una solución mucho más rentable (véase WWAP/ONU-Agua, 2018). Los planificadores urbanísticos y de desarrollo y los responsables de la gestión de las zonas urbanas y suburbanas deben identificar y aplicar estrategias de prevención de la contaminación y examinar las oportunidades de control de las fuentes. El programa de aguas pluviales del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES) de Estados Unidos regula los vertidos de aguas pluviales procedentes de tres fuentes potenciales: los sistemas municipales de alcantarillado pluvial separado, las actividades de construcción y las actividades industriales (<https://www.epa.gov/npdes/npdes-stormwater-program>). La información sobre las medidas de gestión para controlar la contaminación de fuentes no puntuales de las zonas urbanas está disponible en la EPA de EE.UU. ([https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/urban\\_guidance\\_0.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/urban_guidance_0.pdf)).

#### **5.5.3 Pilar 3: Efluentes de aguas residuales domésticas**

Después de las fuentes agrícolas, las aguas residuales domésticas inadecuadamente tratadas son la segunda fuente antropogénica más importante de cargas excesivas de nutrientes en la Región del Gran Caribe (PNUMA-PAC, 2019). Se estima que en 2010 la población de la Región del Gran Caribe liberó probablemente unas 869.000 toneladas de NT y 155.000 toneladas de PT en las aguas residuales no tratadas. Estas estimaciones son conservadoras, ya que excluyen las contribuciones de las aguas residuales parcialmente tratadas que se vierten en fuentes puntuales, como los emisores de aguas residuales.

#### **Objetivo 3.1. Efluentes de aguas residuales domésticas dentro de las normas establecidas para los nutrientes**

Protocolo FTCM Anexo III (Aguas residuales domésticas<sup>6</sup>) establecieron limitaciones regionales para las aguas residuales domésticas, pero no específicamente para los nutrientes. En los informes subregionales elaborados para el RNPRSAP, la mayoría de los países identificaron las aguas residuales domésticas y municipales como la principal fuente de contaminación por nutrientes del medio marino y consideraron esta fuente como de alta prioridad. Los fallos de los sistemas sépticos (debidos a una construcción inadecuada, una ubicación incorrecta y un funcionamiento y mantenimiento deficientes, entre otros) han causado la contaminación de las aguas subterráneas, los ríos y los arroyos (CReW-FMAM 2016b). El vertido de los efluentes de las fosas sépticas y su dispersión en el medio ambiente a través de las aguas de las inundaciones es un problema grave en determinadas zonas. En algunos países del Caribe insular, las aguas residuales se eliminan en el subsuelo a través de lo que se conoce localmente como "pozos de succión." Dado que el suelo de muchas de estas islas es predominantemente kárstico, los vertidos al subsuelo pueden transmitirse con poca asimilación al medio marino (Nurse et al., 2012).

### **Objetivos e indicadores relacionados con las aguas residuales domésticas**

Actualmente, no existen criterios y límites regionales de vertido de nutrientes (N y P) para las aguas residuales domésticas en el marco del Protocolo FTCM <sup>7</sup>, una laguna que debe abordarse urgentemente. El Anexo II del Protocolo FTCM ofrece una lista de factores que deben considerarse para determinar los controles de las fuentes de efluentes y emisiones y las prácticas de gestión cuando se desarrollen limitaciones de efluentes y emisiones y prácticas de gestión subregionales y regionales específicas de las fuentes. El establecimiento de criterios, normas y límites regionales y su armonización en todos los países será fundamental para determinar los objetivos de reducción numérica de nutrientes en las cuencas prioritarias.

CARICOM propuso un límite para el nitrógeno total (inorgánico y orgánico) de 5 mg/l-1 y para el fósforo total (inorgánico y orgánico) de 1 mg/l-1 (basado en una dilución de 50:1 con eliminación de nutrientes). Sin embargo, se trata de límites preliminares y no han sido finalizados ni adoptados por la CARICOM. A nivel nacional, muchos países han adoptado límites máximos permitidos para las concentraciones de N y P en los vertidos de aguas residuales, según los usos designados de las masas de agua receptoras (véanse los informes subregionales). Estos límites se refieren a la concentración y no a las cargas reales, y existe una gran divergencia entre las normas nacionales y los límites máximos permitidos para las diferentes formas de N y P, incluso para usos designados similares de las masas de agua receptoras en todos los países. Algunos países cuentan con reglamentos que prevén el establecimiento de normas de calidad del agua, pero no han aplicado dichas normas. Las normas relativas a los límites de nitratos en las aguas subterráneas varían considerablemente en la región, aunque muchas son más estrictas que las directrices de la Organización Mundial de la Salud (50 mg/l-1). Por ejemplo, la EPA de EE.UU. ha fijado el nivel máximo de contaminantes para el nitrato-nitrógeno en el agua potable en 10 mg/l-1. Existen normas nacionales

---

<sup>6</sup> A los efectos del presente anexo, se entenderá por "aguas residuales domésticas" todos los vertidos procedentes de hogares, instalaciones comerciales, hoteles, residuos sépticos y cualquier otra entidad cuyo vertido incluya lo siguiente a) Descargas de inodoros; b) Descargas de duchas, lavabos, cocinas y lavanderías; o c) Descargas de pequeñas industrias, siempre que su composición y cantidad sean compatibles con el tratamiento en un sistema de aguas residuales domésticas.

<sup>7</sup> El Anexo III del Protocolo FTCM establece los límites de los efluentes para los sólidos suspendidos totales, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), el pH, las grasas, los aceites y las sustancias flotantes.

para las bacterias patógenas (E. coli y Enterococcus sp.) en los efluentes de las aguas residuales domésticas debido al riesgo asociado para la salud pública.

Aunque la meta 6.3 de los ODS exige una reducción del 50% de la proporción de aguas residuales no tratadas para 2030, no especifica el nivel de tratamiento ni los contaminantes que deben eliminarse (cuadro 5.15). La Plantilla de Política Regional de Gestión de Aguas Residuales y la Caja de Herramientas preparadas por el Proyecto del Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW) del FMAM establecen los temas y principios clave que deben constituir la política de gestión de aguas residuales. Entre ellos se encuentran:

- El tratamiento de las aguas residuales se orientará a la producción de un efluente apto para su reutilización en el riego, de conformidad con el Anexo III del Protocolo FTCM, como mínimo. La reutilización de las aguas residuales tratadas para otros fines estará sujeta a las especificaciones adecuadas (CReW FMAM 2016b).
- La empresa de aguas residuales emitirá especificaciones y normas mínimas para el uso de fosas sépticas en las zonas rurales. Se prestará especial atención a la protección de los acuíferos subyacentes (CReW FMAM, 2016b).

La estimación de las cargas anuales empíricas de N y P en las aguas residuales domésticas (línea de base) y la determinación de la reducción final de nutrientes deseada para la mejora de la calidad del agua costera, expresada como un porcentaje de reducción de la carga necesaria y el plazo asociado para alcanzar el límite de N y P, será una tarea prioritaria en la aplicación de la estrategia. El establecimiento de la relación entre el nivel de reducción necesario para lograr la mejora deseada de la calidad del agua requerirá una investigación y un seguimiento adecuados de las cargas de nitrógeno y fósforo tanto en la descarga de efluentes como aguas abajo, para documentar las reducciones de la carga de nutrientes y los efectos asociados en las corrientes.

**Tabla 5.15 Objetivos e indicadores relacionados con las aguas residuales domésticas.**

Objetivo	Indicador
Criterios y límites regionales para el N y el P en los efluentes de las aguas residuales domésticas, y objetivo(s) asociado(s) que se establecerá(n) en el marco del Protocolo FTCM, en consulta con los Estados miembros (nota: el anexo IIIC del Protocolo FTCM especifica los plazos para alcanzar las limitaciones de los efluentes para el total de sólidos en suspensión, la demanda biológica de oxígeno, etc., pero no para los nutrientes, en las aguas residuales domésticas que se vierten en la zona del Convenio).	Porcentaje de vertidos que cumplen las normas sobre efluentes de N y P para las aguas residuales domésticas, por fuente municipal e industrial. Cargas y concentraciones de N y P en los efluentes de aguas residuales.
ODS 6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas y aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial.	6.3.1: Proporción de flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratados de forma segura. El objetivo a largo plazo para este indicador es un valor de 100 (% de aguas residuales tratadas). 6.3.2: Proporción de masas de agua con buena calidad del agua ambiental.

Protocolo FTCM, Anexo III: Límite de efluentes para el vertido de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en las aguas residuales domésticas en la Clase I de 30 mg l-1, y en la Clase II de 150 mg l-1. El objetivo debe ser que el 100% de los vertidos cumplan estos límites.	Proporción de aguas residuales domésticas vertidas que cumplen los límites de concentración establecidos por el Protocolo FTCM.
--	---

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir los aportes de nutrientes de las aguas residuales domésticas.**

La inclusión de la gestión de las aguas residuales basada en el concepto de minimizar la generación, tratar adecuadamente y reutilizar/verter las aguas residuales de forma colectiva o individual debería ser un componente esencial de las políticas y estrategias nacionales sobre el agua (CReW FMAM 2016b). El principio organizativo de "quien contamina paga" y la definición del papel óptimo de los sectores público y privado en la prestación, el seguimiento y la regulación de los servicios de aguas residuales también deberían incluirse en la estrategia.

Aunque están en continua evolución, existen muchas tecnologías de eliminación de nutrientes en el tratamiento de las aguas residuales, que deberían evaluarse e incorporarse a las plantas de tratamiento existentes y nuevas, según proceda. La ingeniería verde o blanda en combinación con la ingeniería dura ha demostrado su eficacia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Otras medidas son la recuperación de nitrógeno, fósforo y potasio de las aguas residuales domésticas y la reutilización de los residuos sanitarios tratados para la producción de fertilizantes, riego y biogás. En la actualidad, se utilizan varias tecnologías para tratar y procesar adecuadamente los lodos de las aguas residuales, produciendo materiales orgánicos seguros y ricos en nutrientes que pueden mejorar y mantener los suelos productivos y estimular el crecimiento de las plantas (PNUMA, 2017). Muchos países de la Región del Gran Caribe cuentan con marcos legislativos, reglamentarios y normativos para la reutilización de las aguas residuales y los lodos (Peters, 2015; CReW FMAM 2016). Varios proyectos del FMAM demuestran soluciones para el tratamiento y la gestión de las aguas residuales en la región (por ejemplo, IWCAM, IWEco, CReW+). Sin embargo, es necesario evaluar en qué medida estas soluciones abordan los nutrientes y compartirlas adecuadamente con las distintas partes interesadas nacionales. Además, será necesario analizar la viabilidad económica y la relación coste/beneficio de las posibles soluciones para reproducir y ampliar las experiencias de los proyectos y programas, así como para aplicar otras BMP para la contaminación por nutrientes.

Algunos países de la Región del Gran Caribe han instalado emisarios submarinos para las aguas residuales domésticas (y, en algunos casos, para las industriales) como opciones alternativas de tratamiento municipal. Será importante ubicar y diseñar cuidadosamente los emisarios submarinos para minimizar los efectos de los aportes de nutrientes, así como la eliminación de nutrientes, patógenos y otras sustancias nocivas del agua vertida. La dimensión del sector privado relacionada con el tratamiento de las aguas residuales y la reducción de las cargas de nutrientes también debe tenerse en cuenta a la hora de abordar la contaminación por nutrientes. Varios hoteles utilizan plantas de tratamiento de aguas residuales in situ, pero en muchos casos estas instalaciones no funcionan eficazmente y el tratamiento es inconsistente.

Véase el compendio de BMP (anexo 5.2), la base de datos de BMP del GNC-FMAM y la plantilla y el conjunto de herramientas de la política regional de gestión de aguas residuales del CReW FMAM (CReW FMAM, 2015). El PNUMA (2017) muestra algunos enfoques innovadores que se están utilizando y proporciona orientación sobre cómo las comunidades pueden poner sus aguas residuales para la reutilización intencional.

#### 5.5.4 Pilar 4: Efluentes industriales

Las estimaciones de las cargas de nutrientes industriales en la Región del Gran Caribe para el período 1997-2008 son de 28.000 toneladas de TN y 5.000 toneladas de TP al año (PNUMA-PAC, 2010). Los flujos de amoníaco procedentes de fuentes industriales puntuales (hotspots) en la Región del Gran Caribe para el período 2008-2018 se han estimado en 23.879 toneladas anuales (capítulo 2). Las industrias incluyen plantas de fertilizantes a base de NH<sub>3</sub> y minas de níquel-cobalto como en Cuba. Se necesita urgentemente una mejor evaluación y cuantificación de la contribución industrial a la contaminación por nutrientes en la región.

##### **Objetivo 4.1. Efluentes industriales dentro de las normas establecidas para los nutrientes**

El ANEXO I del Protocolo FTCM (Categorías de fuentes, actividades y contaminantes asociados) identifica las categorías de fuentes y actividades prioritarias que afectan a la zona del Convenio, entre las que se encuentran las industrias químicas, las industrias extractivas y la minería, las operaciones de procesamiento de alimentos, la fabricación de licores y bebidas no alcohólicas, las refinerías de petróleo, las fábricas de pulpa y papel y las azucareras y destilerías. El Anexo III insta a cada Parte Contratante a esforzarse, de acuerdo con sus capacidades económicas, en desarrollar y aplicar programas de pretratamiento industrial para garantizar que los vertidos industriales en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas nuevos y existentes, y en el ámbito de sus capacidades, a promover una gestión adecuada de las aguas residuales industriales, como el uso de sistemas de recirculación y de circuito cerrado, para eliminar o reducir al mínimo los vertidos en los sistemas de aguas residuales domésticas. Aunque el Protocolo FTCM exige el pretratamiento de los residuos industriales que se vierten en un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, no especifica los componentes de los vertidos industriales. Sin embargo, en la mayoría de los casos, debido a diversos factores, el pretratamiento de los residuos industriales puede ser inexistente y debe ser abordado con urgencia.

El Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación del Protocolo FTCM ordenó las siguientes industrias según su prioridad alta, media y baja:

Alto	Medio	Bajo
<ul style="list-style-type: none"><li>Industrias químicas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Refinerías de petróleo</li><li>Industrias de extracción de recursos</li><li>Fábricas de azúcar y destilerías</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Procesamiento de alimentos</li><li>Fábricas de pulpa y papel</li></ul>

Para mejorar la priorización de las industrias a la hora de tomar medidas, es necesario determinar su contribución relativa a la contaminación por nutrientes. Los países anglófonos y los territorios francófonos no identificaron las aguas residuales industriales como una fuente prioritaria de contaminación por nutrientes, y sólo Trinidad y Tobago consideró que la contaminación por amoníaco procedente de las industrias productoras de amoníaco en Point Lisas era un punto conflictivo, y Antigua y Barbuda la consideró una cuestión prioritaria (IMA, 2020). La EPA de EE.UU. ha establecido normas nacionales para los vertidos de aguas residuales industriales de diferentes categorías de industrias a las aguas superficiales y a las obras de tratamiento de propiedad pública (plantas municipales de tratamiento de aguas residuales) en virtud de la Ley de Agua Limpia. Estas normas se basan en la tecnología (es decir, en el rendimiento de las tecnologías de tratamiento y control) y no en el riesgo o el impacto en las aguas receptoras. Entre las industrias relevantes que figuran en la lista está la fabricación de fertilizantes, con

normas para los vertidos de diversas formas de compuestos de nitrógeno y fósforo (<https://www.epa.gov/eg/fertilizer-manufacturing-effluent-guidelines#pollutants>). Es importante que los países desarrollen normas de efluentes para las aguas residuales industriales.

Otra fuente industrial de N y P es la deposición atmosférica (procedente de la quema de combustibles fósiles y otros procesos). La deposición atmosférica de nutrientes procedentes de las nubes de polvo y las tormentas (por ejemplo, el polvo del Sahara, que es un problema estacional en la Región del Gran Caribe y está implicado en el brote de Sargazo en la región) también es motivo de preocupación en la región. La mitigación de la deposición atmosférica de nutrientes a través de las fronteras nacionales requiere la colaboración a nivel regional e incluso mundial (lo que queda fuera del alcance de esta estrategia).

### Objetivos e indicadores relacionados con los vertidos industriales

No existen normas regionales ni límites permitidos para el N y el P en los vertidos industriales. Sin embargo, algunos países tienen límites máximos permitidos para los nutrientes en los vertidos de aguas residuales o normas para los vertidos de diferentes fuentes (domésticas, municipales, industriales, ganaderas y agrícolas) en masas de agua receptoras terrestres o marinas, pero no para los vertidos en alcantarillas. Las normas de vertido incluyen los límites máximos de nutrientes permitidos en términos de concentración y no de carga contaminante (flujo multiplicado por la concentración). Por lo tanto, el factor de flujo no se tiene en cuenta a la hora de evaluar el impacto de las sustancias o compuestos que pueden causar daños en el cuerpo receptor, aunque en general, la necesidad de medir el flujo de descarga se reconoce en la mayoría de las normas. En la tabla 5.16 se muestran las metas de los ODS pertinentes. Sin embargo, éstos no abordan explícitamente los nutrientes, pero pueden adaptarse a ellos.

**Tabla 5.16 Objetivos e indicadores relacionados con las aguas residuales industriales.**

Objetivo	Indicador
Criterios y límites regionales para el N y el P en los efluentes industriales que se establecerán en el marco del Protocolo FTCM	A establecer
Criterios y límites nacionales que se establecerán, armonizados con el objetivo regional (véanse las normas nacionales de la EPA de EE.UU. para los vertidos industriales de compuestos de N y P)	Por establecer, armonizado con el(los) indicador(es) regional(es)
ODS 6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas y aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial.	6.3.1: Proporción de flujos de aguas residuales domésticas e industriales tratados de forma segura. El objetivo a largo plazo para este indicador es un valor de 100 (% de aguas residuales tratadas). 6.3.2: Proporción de masas de agua con buena calidad del agua ambiental.
Meta 12.4 de los ODS. Para 2020, lograr la gestión ambientalmente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales acordados, y reducir significativamente su liberación en la atmósfera, el agua y el suelo a fin de	Indicador 12.4.1. Número de partes en los acuerdos ambientales multilaterales internacionales sobre residuos peligrosos, y otros productos químicos que cumplen sus compromisos y obligaciones en la transmisión de información según lo requerido por cada acuerdo pertinente.

minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.	
Nota: El plazo de 2020 debe ser revisado	12.5.1: Tasa de reciclaje nacional, toneladas de material reciclado. Indicador indirecto de 12.5.1. Proporción de residuos reciclados en relación con el total de residuos recogidos (CEPAL, 2018). Otro(s) indicador(es) a desarrollar.

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir la contaminación por nutrientes de las aguas residuales industriales**

Las estrategias y las BMP para las aguas residuales industriales dependen del tipo de industria. Hay muchas tecnologías disponibles, incluso para el reciclaje de los efluentes industriales. La EPA de EE.UU. elaboró una base de datos sobre tecnologías de tratamiento de aguas residuales industriales que está disponible en <https://watersgeo.epa.gov/iwtt/guided-search>. Véase también el conjunto de herramientas de política de aguas residuales del CReW FMAM (2016b), que aborda los vertidos de aguas residuales industriales de las pequeñas industrias únicamente, ya que la composición y la cantidad son compatibles con el tratamiento en los sistemas de aguas residuales domésticas. Se recomienda que el PNUMA-PAC elabore una base de datos en línea de tecnologías, adaptando la base de datos de la EPA de los Estados Unidos según corresponda.

#### **5.5.5 Pilar 5: Fuentes marinas de nutrientes**

Mientras que el Protocolo FTCM se centra en las fuentes y actividades terrestres, el Convenio de Cartagena abarca en su conjunto la contaminación del medio marino procedente tanto de fuentes terrestres como marinas. El pilar 5 se centra en el vertido no regulado de aguas residuales y residuos alimentarios en aguas marinas procedentes del sector marítimo, incluidos los buques mercantes, los cruceros y las embarcaciones de recreo, como los yates. El Gran Caribe es un importante centro de la industria marítima mundial (el Canal de Panamá es una de las principales rutas marítimas para el comercio mundial) y del turismo de cruceros. Dado el alcance y la intensidad del transporte marítimo en la región y la naturaleza sensible del propio Mar Caribe, los residuos generados por los buques representan una amenaza significativa para los ecosistemas marinos de la Región del Gran Caribe y los sectores económicos dependientes. Además de las aguas residuales no tratadas y los residuos alimentarios, la emisión de óxido de nitrógeno procedente de los escapes de los barcos es otra fuente potencial de contaminación por nutrientes del medio marino debido a la deposición atmosférica. Se carece de estimaciones empíricas de la contribución de la contaminación por nutrientes procedente de las actividades marítimas. Sin embargo, las estimaciones modelizadas de las concentraciones de los componentes encontrados en los biosólidos generados por los cruceros indican un contenido sustancial de nutrientes (nitratos, nitritos y amoníaco) (véase el capítulo 2).

#### ***Objetivo 5.1. Reducir la contaminación por nutrientes procedente de fuentes y actividades marítimas***

(MARPOL es el principal convenio internacional sobre la prevención de la contaminación del medio marino por los buques por causas operativas o accidentales. El Anexo IV de MARPOL sobre la prevención de la contaminación por aguas residuales de los buques prohíbe el vertido de aguas residuales en el mar, excepto cuando el buque tenga en funcionamiento una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada o cuando el buque descargue aguas residuales trituradas y desinfectadas mediante un sistema

aprobado a una distancia de más de tres millas náuticas de la tierra más cercana. Las aguas residuales no trituradas ni desinfectadas deben descargarse a una distancia superior a 12 millas náuticas de la tierra más cercana. Además, el Anexo IV exige a los gobiernos que garanticen la existencia de instalaciones de recepción adecuadas en los puertos y terminales para la recepción de las aguas residuales, sin causar retrasos a los buques. En el caso de los yates, existe una laguna con respecto a las disposiciones de MARPOL, ya que este tipo de embarcaciones generalmente quedan fuera de las disposiciones. El Anexo VI de MARPOL sobre prevención de la contaminación atmosférica por los buques establece, entre otros, límites a las emisiones de óxido de nitrógeno procedentes de los escapes de los buques. Los Anexos IV y VI de MARPOL son opcionales y deben ser ratificados por separado del Convenio.

### **Objetivos e indicadores relacionados con las fuentes marinas**

Para las aguas residuales que se depositen en las instalaciones portuarias de recepción, se aplicarán las normas sobre efluentes de aguas residuales domésticas (véase el pilar 3). El Anexo IV de MARPOL especifica los índices máximos de vertido en el mar de aguas residuales en función de la velocidad y el calado del buque. No hay objetivos e indicadores específicos para los nutrientes en el Anexo IV, excepto en la enmienda al Anexo IV, que introdujo, entre otras cosas, una definición de Zona Especial, así como los requisitos pertinentes para el vertido de aguas residuales de los buques de pasaje en las Zonas Especiales y para las instalaciones portuarias de recepción. En virtud de esta enmienda, se establecen normas de eliminación de nitrógeno y fósforo para la planta de tratamiento de aguas residuales instalada en un buque de pasaje que pretenda descargar efluentes de aguas residuales en Zonas Especiales (resolución MEPC.227(64), sección 4.2). Actualmente, la zona del Mar Báltico es la única Zona Especial del Anexo IV. PNUMA-PAC debe procurar la designación del Gran Mar Caribe como Zona Especial en virtud del Anexo IV (y también del Anexo I). Esto requiere una colaboración estrecha y continua entre la Organización Marítima Internacional (OMI) y el PNUMA, incluso a través del trabajo del Centro Regional de Información y Capacitación para Emergencias de Contaminación Marina en el Gran Caribe (CAR/REMPEITC) y la vinculación con las reuniones del Comité de Protección del Medio Ambiente Marino de la OMI y los Oficiales Marítimos Superiores en la región.

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir la contaminación por nutrientes de las actividades marítimas**

El Anexo IV de MARPOL exige que los buques estén equipados con una planta de tratamiento de aguas residuales aprobada o con un sistema de conminación y desinfección de aguas residuales aprobado o con un tanque de retención de aguas residuales, así como la provisión de instalaciones portuarias de recepción de aguas residuales adecuadas. Sin embargo, algunos de los requisitos tienen que traducirse en la legislación nacional y su aplicación. Aunque las instalaciones de recepción han ganado la atención regional, cuestiones como la disponibilidad, la adecuación y las estructuras de tarifas han obstaculizado su adopción generalizada. La mayoría de los países con RGC, en particular las naciones insulares, carecen de instalaciones portuarias de recepción adecuadas para los desechos generados por los buques (OMI, 2016). La OMI ha desarrollado un Plan de Acción para abordar la supuesta insuficiencia de las instalaciones de recepción portuaria, que incluye directrices y buenas prácticas sobre las instalaciones de recepción portuaria para proveedores y usuarios.

Las tecnologías de tratamiento existentes a disposición de las líneas de cruceros incluyen los dispositivos tradicionales de saneamiento marino de tipo II y los sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales (AWTS) (véase el capítulo 2). Folbert (2020) estimó que, en 2019, el 64% de los cruceros que

operan en el Caribe utilizan AWTs para el tratamiento de las corrientes de aguas residuales. Estos sistemas se están convirtiendo en la norma en la industria de los cruceros y las nuevas construcciones suelen estar equipadas con estos sistemas. Sin embargo, estos y otros sistemas de a bordo no están diseñados principalmente para eliminar nutrientes, sino para tratar los efluentes con el fin de eliminar patógenos, sólidos en suspensión, DBO, etc. Una vez que las aguas residuales se depositan en las instalaciones de recepción, las estrategias y las BMP pertinentes para los efluentes de las aguas residuales domésticas serán aplicables a los residuos generados por los buques (pilar 3).

Otras estrategias para apoyar la gestión de la contaminación por nutrientes de los buques incluyen sistemas basados en procesos como la ISO 14001 para sistemas de gestión ambiental. Por ejemplo, la norma ISO 14001:2015 especifica los requisitos de un sistema de gestión medioambiental para mejorar el rendimiento medioambiental y está destinada a ser utilizada por una organización que pretenda gestionar sus responsabilidades medioambientales de forma sistemática y que contribuya al pilar medioambiental de la sostenibilidad.

La eco-certificación y el ecoetiquetado son otras herramientas que son relevantes para los sectores marítimos, en particular la industria de los cruceros. De hecho, estas herramientas pueden utilizarse en otros sectores para fomentar prácticas más sostenibles y cumplir una serie de normas establecidas.

#### **5.5.6 Pilar 6: Calidad de las aguas costeras**

##### ***Objetivo 6.1. Calidad de las aguas costeras dentro de las normas ambientales (para la función ecológica y los usos humanos designados).***

El Anexo III (Aguas residuales domésticas) y el Anexo IV (Fuentes de contaminación agrícolas no puntuales) del Protocolo FTCM piden explícitamente a las Partes Contratantes que tomen medidas para proteger la zona del Convenio de la contaminación por nutrientes (N y P). El Anexo III del Protocolo FTCM reconoce la sensibilidad de los hábitats marinos a las aguas residuales domésticas al definir dos Clases (I y II) de aguas basadas en características específicas:

Aguas de clase I: Las aguas de la zona del Convenio que, debido a sus características ambientales inherentes o únicas o a sus frágiles características biológicas o ecológicas o al uso humano, son especialmente sensibles a los impactos de las aguas residuales domésticas. Las aguas de clase I incluyen, entre otras, las siguientes (a) las aguas que contienen arrecifes de coral, lechos de hierbas marinas o manglares; (b) las zonas críticas de reproducción, cría o forraje para la vida acuática y terrestre; (c) las zonas que proporcionan un hábitat para las especies protegidas en virtud del Protocolo relativo a las zonas y la fauna especialmente protegidas del Convenio (Protocolo SPAW); (d) las áreas protegidas enumeradas en el Protocolo SPAW; y (e) las aguas utilizadas para fines recreativos.

Aguas de clase II: Las aguas de la zona del Convenio, distintas de las aguas de la clase I, que, debido a factores oceanográficos, hidrológicos, climáticos o de otro tipo, son menos sensibles a los impactos de las aguas residuales domésticas y en las que los seres humanos o los recursos vivos que pueden verse afectados negativamente por los vertidos no están expuestos a dichos vertidos.

Los componentes de las aguas residuales domésticas para los que se establecen límites para las aguas de las clases I y II no incluyen los nutrientes. La mayoría de las Partes Contratantes aún no han clasificado sus aguas, lo que debería ser una prioridad de cara al futuro. Una evaluación de la contaminación por

nutrientes en la zona del Convenio de Cartagena presentada en el informe de SOCAR muestra una elevada proporción de lugares de muestreo que superan los límites de calidad del agua para el DIN y el DIP, que son las formas de nutrientes directamente utilizables por las plantas marinas y, por tanto, las más relevantes para la eutrofización. Estas cifras pueden indicar la presencia de focos de contaminación por nutrientes que están asociados a zonas influenciadas por descargas fluviales y centros urbanos (PNUMA - PAC, 2019). Será necesario seguir investigando y vigilando para relacionar la calidad del agua costera observada con los aportes de nutrientes en las cuencas hidrográficas y las cargas de nutrientes a las aguas costeras procedentes de fuentes puntuales y no puntuales.

### Objetivos e indicadores de la calidad de las aguas costeras

Unos criterios adecuados en materia de nutrientes son vitales para la gestión de la eutrofización de las aguas superficiales con el fin de lograr un buen estado ecológico. El Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación del FTCM para el SOCAR ha adoptado criterios de buen, regular y mal estado para los indicadores de calidad del agua costera DIN, DIP, Clorofila a (Chl a) y Oxígeno Disuelto (OD), basándose en las directrices de la EPA de EE.UU. (Tablas 5.17 y 5.18). Se aplican umbrales diferentes para los entornos continentales e insulares debido a las diferencias en sus características naturales y su vulnerabilidad ecológica. Sin embargo, los umbrales regionales deben ser negociados y acordados por todos los países. A nivel nacional, algunos países han establecido límites máximos permitidos de N y P en los vertidos a las aguas costeras, así como normas de calidad del agua costera para los usos designados de la masa de agua receptora (véase CIMAB, 2020 e IMA, 2020). Entre ellos se encuentran los criterios y normas establecidos en la Ley de Agua Limpia de los Estados Unidos y, para los territorios franceses, la Directiva Marco del Agua europea (Poikane et al., 2019).

**Tabla 5.17 Criterios de calidad del agua para el DIN y el DIP en entornos continentales e insulares (PNUMA-PAC, 2019).**

Indicador	Estado	Continental mg.l <sup>-1</sup>	Isla mg.l <sup>-1</sup>
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

**Tabla 5.18 Límites de calidad del agua para la clorofila a (Chl a) en entornos continentales e insulares y para el oxígeno disuelto en el fondo (OD).**

Chl a		
Estado	Continental µg l <sup>-1</sup>	Isla µg l <sup>-1</sup>
Bien	<5.0	<0.5
Regular	5.0 to 20.0	0.5 to 1.0
Pobre	>20.0	>1.0
DO de fondo (continental e insular)		
Bien	> 5 mg.l <sup>-1</sup>	
Regular	5-2 mg.l <sup>-1</sup>	
Pobre	< 2 mg.l <sup>-1</sup>	

A nivel mundial, el ODS 14.1 y la Meta 6 del Marco Mundial para la Diversidad Biológica posterior a 2020 del CDB abordan explícitamente la contaminación por nutrientes del medio marino (Cuadro 5.19). Será necesario crear capacidades para el seguimiento y la estimación del indicador del ODS 14.1 (ICEP) en los países. En el anexo 5.4 (Marco de seguimiento) figuran otros indicadores.

**Tabla 5.19 Objetivos e indicadores de la calidad del agua costera.**

<b>Objetivo</b>	<b>Indicador</b>
Se establecerán objetivos regionales: Las aguas costeras (clase I y puntos críticos de nutrientes) recuperarán un "buen" estado (o niveles naturales de N y P) para 2030. Nota: Los criterios y normas para el "buen" estado deben ser desarrollados y aprobados por los estados miembros (para ser facilitado por el PNUMA-PAC).	Concentración de DIN, DIP, Chl a, Sólidos suspendidos totales (TSS), DO (agua de fondo); Cargas de DIN, DIP, Si en las desembocaduras de los ríos (modelo NEWS); Proporción de la zona marina que cumple las normas (véase también el indicador 6.3.1 de los ODS).
ODS 6.3. Para 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando los vertidos y minimizando la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad la proporción de aguas residuales no tratadas y aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial.	6.3.1. Proporción (%) de masas de agua (ríos, aguas subterráneas y aguas costeras) con buena calidad del agua ambiental.
ODS 14.1. Para 2025, prevenir y reducir considerablemente la contaminación marina de todo tipo, en particular la procedente de actividades terrestres, incluida la <b>contaminación por nutrientes</b>	Indicador 14.1.1: (a) Índice de potencial de eutrofización costera (ICEP); y (b) % de desviaciones de Chl a (a partir de la teledetección).
Marco Global de Biodiversidad Post-2020 del CDB Meta 6: Para 2030, reducir la contaminación de todas las fuentes, incluyendo la reducción del exceso de nutrientes [en un x%] a niveles que no sean perjudiciales para la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas y la salud humana. <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1. Reducción de la contaminación por exceso de nutrientes</li> </ul>	6.0.1. Proporción de agua con buena calidad ambiental (agua dulce y marina) <ul style="list-style-type: none"> <li>6.1.1. Balance de nitrógeno (en los ríos a partir del indicador 6.3.2 de los ODS y en los océanos a partir del indicador 14.1.1 de los ODS)</li> <li>6.1.2. Balance de fosfatos (en los ríos a partir del indicador 6.3.2 de los ODS y en los océanos a partir del indicador 14.1.1 de los ODS)</li> <li>6.1.3. Uso de fertilizantes</li> </ul> 6.1.1.1. Tendencias de la pérdida de nitrógeno reactivo en el medio ambiente.

### **Estrategias y mejores prácticas de gestión para restaurar y mantener la calidad del agua costera**

La protección de las aguas costeras frente a los vertidos de nutrientes procedentes de fuentes y actividades terrestres exige enfoques basados en los ecosistemas, como la gestión integrada de las

cuenas hidrográficas y las zonas costeras y la gestión integrada de las zonas costeras. Entre las medidas más eficaces (que deberían aplicarse en combinación con otras BMP adecuadas relacionadas con los objetivos anteriores) se encuentran la reducción de la erosión y la escorrentía (véase más arriba) y el establecimiento de zonas de amortiguación vegetal a lo largo de los cursos de agua y de la costa (esta última en forma de vegetación costera, como manglares, marismas y praderas marinas). Por lo tanto, la restauración y la protección de la vegetación costera serán esenciales para reducir los aportes de nutrientes a las aguas costeras procedentes de fuentes y actividades terrestres. Esto debe ir acompañado de medidas para abordar las fuentes marinas, como el transporte marítimo, el turismo y la industria del petróleo y el gas, así como la deposición atmosférica de nutrientes en el océano. En el caso de las fuentes marinas, será necesario aplicar herramientas y enfoques de gestión basados en los ecosistemas, como la planificación espacial marina y la gestión integrada de las zonas costeras.

Véase el compendio de BMP y la base de datos GNC BMP del FMAM para las BMP adecuadas.

### **5.5.7 Pilar 7: Hábitats costeros y marinos productivos**

***Objetivo 7.1. Reducir el impacto ecológico de la contaminación por nutrientes en las aguas costeras***

***Objetivo 7.2. Reducción de la amenaza para los hábitats marinos críticos y la biodiversidad a causa de la contaminación por nutrientes (vínculo con la Estrategia Regional de Hábitats)***

Aunque los objetivos 6.1, 7.1 y 7.2 están estrechamente relacionados, representan diferentes niveles de impacto de los nutrientes en el medio marino. La contaminación por nutrientes provoca una cascada de cambios en el medio marino, que se manifiestan en diferentes fenómenos, que pueden ser o no evidentes. El objetivo 6.1 se ocupa de la calidad del agua costera, que es fundamental para abordar los impactos resultantes a escala de hábitat y controlar el nivel de N, P y Si para permitir la detección de la probabilidad (como muestra el ICEP) de provocar determinadas respuestas. El objetivo 7.1. trata de las respuestas biológicas provocadas por las cargas excesivas de nutrientes en las aguas costeras, que se reflejan en fenómenos como la proliferación de algas (incluidas las FAN y el sargazo) y el agotamiento del oxígeno en las aguas del fondo. El objetivo 7.2. se ocupa de los impactos directos del enriquecimiento en nutrientes sobre la biodiversidad marina y la calidad de los hábitats marinos críticos. Este enfoque permite supervisar los tres impactos distintos de los nutrientes en el medio marino para informar sobre las respuestas de gestión y mitigación.

El Proyecto CLME+ del PNUD-FMAM apoyó el desarrollo de una Estrategia Regional y Plan de Acción para la Valoración, Protección y/o Restauración de Hábitats Marinos Clave en el Gran Caribe (2021 - 2030) (PNUMA-PAC, 2020) para el Subprograma SPAW del PNUMA-PAC (en adelante, la Estrategia de Hábitats). Existen importantes sinergias entre las dos estrategias y será fundamental una estrecha coordinación en su implementación. Las metas y objetivos relevantes de la Estrategia de Hábitats incluyen la Meta 1. Mejorar la salud, la biodiversidad y la resistencia de los ecosistemas; Objetivo 5 (Pilar 2): Reducir las amenazas a los hábitats procedentes de los sectores costeros/marinos y de las actividades de desarrollo que afectan a los arrecifes de coral, los manglares y las hierbas marinas, con un objetivo de reducción porcentual de la superficie de los hábitats degradados para 2030. Además, la Estrategia del Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030) describe tres vías con actividades asociadas que deben aplicarse para prevenir, detener e invertir la degradación de los ecosistemas en todo el mundo (<https://www.decadeonrestoration.org/>).

Un reto para los investigadores será determinar el grado en que las diferentes amenazas (nutrientes, sedimentación, cambio climático, destrucción física, etc.) afectan a los hábitats marinos, cómo interactúan y el impacto acumulativo de estas interacciones, así como la forma en que estos hábitats pueden haber desarrollado resistencia y resiliencia a múltiples factores de estrés.

### Objetivos e indicadores para los hábitats costeros

Además de las metas del Objetivo 6.1, otras dos metas de los ODS son relevantes para el Pilar 7 (Tabla 5.20). En el anexo 5.4 (Marco de seguimiento) figuran otros indicadores.

**Tabla 5.20 Objetivos e indicadores para los hábitats costeros y marinos.**

Objetivo (*año a revisar)	Indicador
ODS 6.6. Para 2020*, proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua, incluyendo montañas, bosques, humedales, ríos, acuíferos y lagos.	ODS 6.6.1. Cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua a lo largo del tiempo.  Área de manglares: Indicador complementario de la CEPAL para el ODS 14.2 (CEPAL, 2018)
ODS 14.2. Para 2020*, gestionar y proteger de forma sostenible los ecosistemas marinos y costeros para evitar impactos adversos significativos, incluso reforzando su resiliencia, y tomar medidas para su restauración con el fin de lograr unos océanos saludables y productivos.	ODS 14.2.1 Número de países que utilizan enfoques basados en los ecosistemas para gestionar las zonas marinas.
Objetivos regionales que se establecerán en el marco del Protocolo FTSM: Reducción de la incidencia de las floraciones de algas, HABS, brotes de Sargazo, muertes de peces, etc. para 2030	Número de incidentes por año, área de extensión, peso/volumen/densidad de Sargazo en las costas.
Otros objetivos e indicadores relevantes se recogen en la Estrategia Regional y Plan de Acción del CLME+ para la Valoración, Protección y/o Restauración de Hábitats Marinos Clave en el Gran Caribe (mencionada anteriormente).	

### Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir el impacto de los nutrientes en los hábitats costeros

Véanse las medidas para los objetivos 6.1 y la estrategia de hábitats. La consideración de los impactos del cambio climático en los hábitats marinos será clave en el desarrollo de medidas para lograr este objetivo.

#### 5.5.8 Pilar 8: Bienestar humano y economía azul

**Objetivo 8.1. Reducción de los riesgos para la salud y el bienestar humanos derivados de la contaminación por nutrientes**

**Objetivo 8.2. Mejora de los medios de vida**

**Objetivo 8.3. Reducción de los riesgos para la economía azul derivados de la contaminación por nutrientes (pérdidas económicas)**

Estos tres objetivos abordan las consecuencias socioeconómicas de la contaminación por nutrientes de las aguas costeras en la zona del Convenio de Cartagena. Existen pocas estimaciones sobre la incidencia de las enfermedades humanas, la pérdida de medios de vida y los costes económicos asociados a los impactos de la contaminación por nutrientes en la región (capítulo 3). Sin embargo, la información disponible indica que los impactos pueden ser sustanciales. La mejora de los programas de seguimiento, la identificación de los impactos socioeconómicos directamente relacionados con la contaminación por nutrientes y la estimación de los costes asociados en términos de salud humana, medios de vida y economía serán de vital importancia para la aplicación de un enfoque basado en los ecosistemas para la gestión de los nutrientes. La atribución directa de los cambios en la salud humana, los medios de vida y las economías a la contaminación por nutrientes será un reto y requerirá la recopilación oportuna y coordinada de datos e investigaciones.

### Objetivos e indicadores relacionados con el bienestar humano y la economía azul

La meta 3.9 de los ODS aborda explícitamente los efectos de la contaminación en la salud humana: para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la contaminación del aire, el agua y el suelo (cuadro 5.21). Es necesario establecer metas para los demás objetivos.

**Tabla 5.21 Objetivos e indicadores relacionados con los impactos de la contaminación en la salud humana.**

Objetivo	Objetivo	Indicador
Objetivo 8.1. Reducir los riesgos para la salud y el bienestar humanos derivados de la contaminación por nutrientes.	ODS 3.9. Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades debidas a productos químicos peligrosos y a la contaminación del aire, el agua y el suelo.	ODS 3.9.2. Tasa de mortalidad atribuida al agua insalubre, al saneamiento insalubre y a la falta de higiene ODS 3.9.3. Tasa de mortalidad atribuida al envenenamiento no intencionado  Otros: Número de personas afectadas y tipo de enfermedades por año. Coste económico anual de hacer frente a los impactos en la salud humana (tratamiento médico, etc.). Número de avisos de aguas contaminadas por año. Número de lechos de mariscos y cierres de pesquerías por año.
Objetivo 8.2. Reducir la pérdida de medios de subsistencia relacionada con la contaminación por nutrientes de las aguas costeras.	Por determinar	Número de personas afectadas por año. Pérdida media de ingresos (USD) por año.
Objetivo 8.3. Reducir los riesgos para la economía	Por determinar	(Nota: las pérdidas y los cambios son los que pueden atribuirse a la contaminación)

<p>azul derivados de la contaminación por nutrientes.</p>		<p>por nutrientes, que pueden ser difíciles de identificar)  Pérdidas económicas al año (USD) por sector (causadas por la contaminación por nutrientes).  Pérdidas de empleo al año por sector.  Cambio en la contribución al PIB por sector.  Oportunidades de empleo creadas.  Coste económico anual de la mitigación de la contaminación por nutrientes y del tratamiento de sus impactos.</p>
---	--	---

**Estrategias y mejores prácticas de gestión para reducir los riesgos para el bienestar humano, los medios de vida y las economías.**

Está claro que la mejor estrategia para alcanzar estos objetivos (y todos los demás) es abordar el problema en su origen, es decir, evitar las aportaciones excesivas de nutrientes procedentes de fuentes puntuales y no puntuales al medio ambiente. Uno de los obstáculos es la escasez de datos e información cuantitativa sobre los impactos sociales y económicos de los nutrientes y los vínculos entre los impactos observados con la contaminación por nutrientes. Es esencial contar con un sistema de seguimiento, previsión y alerta temprana que emplee tecnologías tradicionales (por ejemplo, muestras de agua y observación directa) y modernas (por ejemplo, imágenes por satélite) y que cuente con la participación de todos los sectores pertinentes, incluido el de la salud pública. El Sistema de Observación de FAN de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de EE.UU. (<https://habsos.noaa.gov/#>) y el Sistema de Previsión Operativa de FAN y Previsión de Mareas Rojas (<https://tidesandcurrents.noaa.gov/hab/gomx.html>) son ejemplos de sistemas existentes en esta región para las FAN y las mareas rojas. La Base de Datos de Eventos de Algas Nocivas (HAEDAT), albergada por el Programa de Intercambio Internacional de Datos Oceanográficos de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, contiene información actualizada periódicamente sobre eventos de FAN por países de todo el mundo (<http://haedat.iode.org/>). Las redes regionales de HAB de la COI incluyen la ANCA y la FANSA).

En los programas de vigilancia de los nutrientes debería incluirse un control regular del nivel de toxinas y de sus fuentes en el pescado y el marisco. Otra estrategia para mitigar el impacto de las toxinas de las floraciones de algas nocivas en la salud humana es procesar el pescado y los mariscos recolectados para reducir la toxicidad a un nivel aceptable, por ejemplo, eliminando las vísceras antes de su comercialización o consumo.

**5.5.9 Pilar 9. Permitir la aplicación efectiva del NPRSAP de la RGC**

***Objetivo 9.1. Establecer condiciones propicias para abordar la contaminación por nutrientes y sus impactos en la RGC.***

La aplicación del PNRSA de la RGC requerirá el establecimiento de una serie de condiciones propicias a escala local/nacional, subregional y regional. El Protocolo FTCM contiene disposiciones sobre participación, educación y concienciación, presentación de informes, mecanismos institucionales, comité

científico, técnico y consultivo, procedimientos operativos y financiación. Estas disposiciones, junto con otras, se incorporan al Pilar 9.

### **Objetivos e indicadores**

Deben identificarse objetivos específicos a diferentes escalas (local, nacional, regional). Los siguientes son los objetivos del pilar 9:

- Mejorar los marcos y mecanismos institucionales a todos los niveles y reforzar los vínculos (horizontales y verticales) entre ellos (marco de gobernanza multiescala). Esto incluye los esfuerzos del PNUMA-PAC para desarrollar proyectos más integrados para la prevención de la contaminación y la degradación/restauración del hábitat en el marco del Protocolo FTCM y SPAW;
- Promover reformas políticas y legislativas que apoyen un enfoque integrado para abordar la contaminación por nutrientes en el área del Convenio de Cartagena;
- Mejorar la base de datos y conocimientos y el sistema de apoyo a la toma de decisiones, y reforzar el intercambio y la puesta en común de conocimientos;
- Mejorar la política y la toma de decisiones con base científica para la gestión de la contaminación por nutrientes (interfaz ciencia-política);
- Reforzar el conocimiento y la capacidad en todas las disciplinas y habilidades necesarias para la gestión de la contaminación por nutrientes, incluyendo en las BMP para la reducción de la contaminación por nutrientes;
- Aumentar la participación, la aceptación y la concienciación de las partes interesadas a todos los niveles;
- Promover el desarrollo de mecanismos de financiación sostenibles y la obtención de recursos financieros adecuados y sostenidos para aplicar la estrategia y el plan de acción.

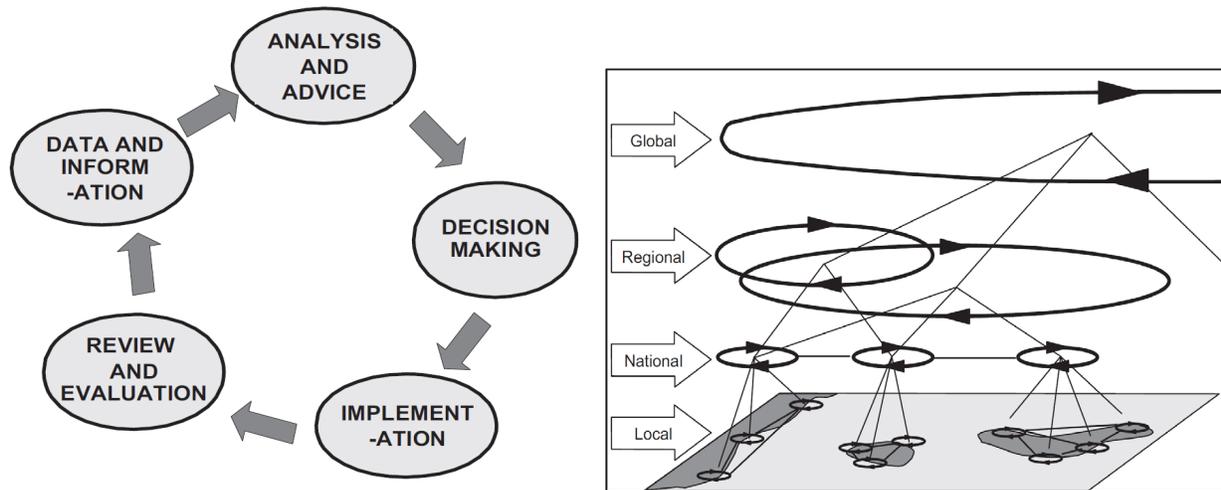
Los indicadores serán principalmente indicadores de proceso relacionados con los objetivos (preferiblemente objetivos numéricos). Los indicadores se identificarán para el noveno pilar.

Para los indicadores de proceso, véanse, por ejemplo, Duda (2002), Heileman y Walling (2008), GEF/UNDP/UNEP (s.f.) y GEF LME: LEARN (2019).

### **Marco institucional**

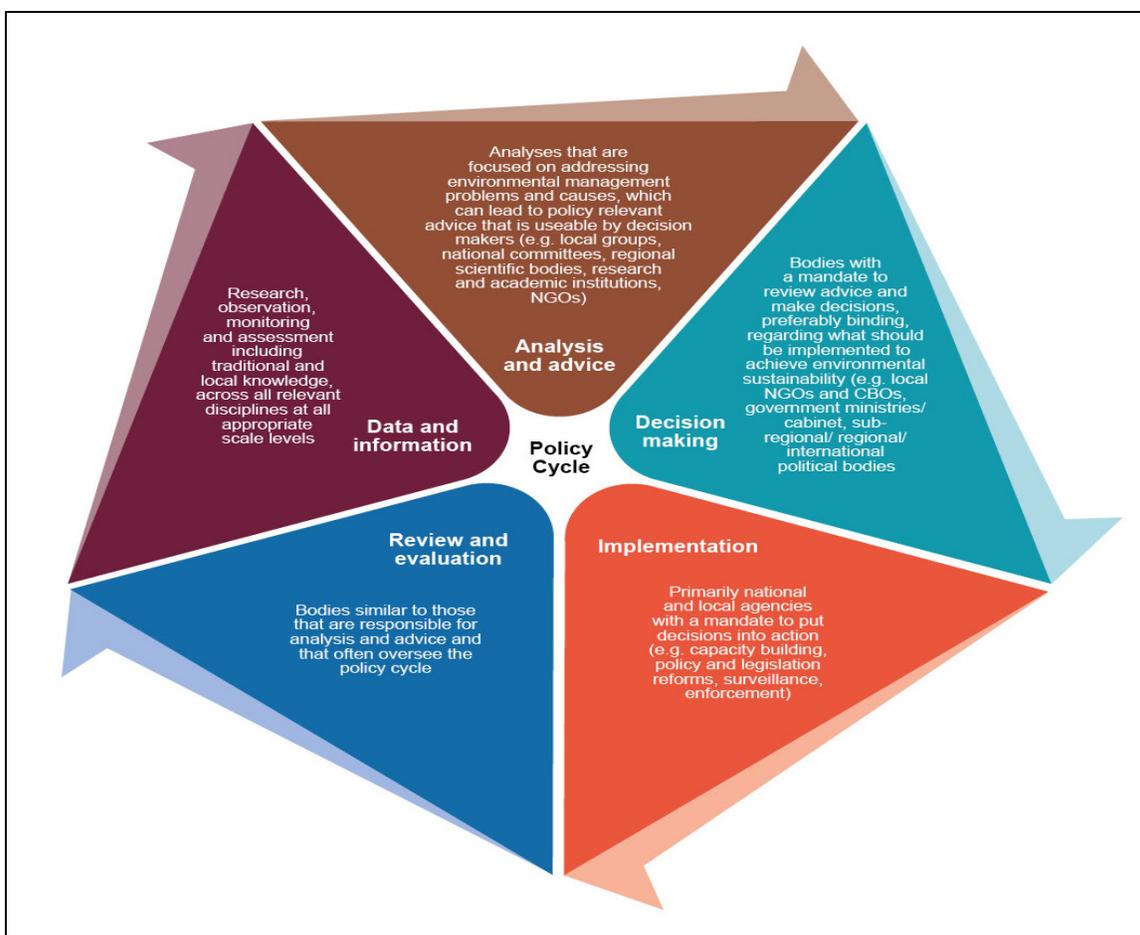
La RGC cuenta con una rica red de actores e instituciones relevantes a diferentes niveles, desde el local y el nacional hasta el subregional/regional e internacional, que sirven para diversos propósitos pero que rara vez se cruzan de manera efectiva (Fanning et al., 2007, Mahon et al., 2013). Se necesitarán cambios en el marco institucional para mejorar los mecanismos institucionales que vinculan las intervenciones a nivel de cuenca con las políticas nacionales, regionales y mundiales pertinentes y para facilitar la aplicación de un enfoque integrado de la cresta al arrecife (cuenca hidrográfica). Uno de los principales obstáculos es el enfoque sectorial (silo) que aún prevalece en muchos países y la ausencia o debilidad de los vínculos entre los diferentes actores. El marco institucional/de gobernanza puede examinarse en el contexto de las cinco etapas de un ciclo político genérico: datos e información, síntesis y prestación de asesoramiento, toma de decisiones, aplicación y revisión y evaluación, cada una de las cuales requiere diferentes aportaciones y actores (aunque hay cierto solapamiento).

En el marco del anterior Proyecto LME del Caribe (CLME) del FMAM, Fanning et al. (2007) propusieron un marco de gobernanza de los LME a múltiples escalas que consistía en un conjunto de actores e instituciones gubernamentales y no gubernamentales anidados y vinculados lateralmente (Figura 5.15). Este marco contempla los procesos y vínculos en las múltiples escalas geográficas y organizativas que son características de la diversidad y complejidad inherentes al Caribe. El marco de gobernanza propuesto para el LME comprende ciclos políticos completos a múltiples niveles jurisdiccionales que están conectados en red a través de vínculos verticales y laterales.



**Figura 5.15 Un ciclo político genérico (izquierda) y el componente multiescala (derecha) del marco de gobernanza propuesto con vínculos verticales y horizontales entre los diferentes ciclos políticos (Fanning et al., 2007)**

Los tipos de partes interesadas y actividades que pueden asociarse a las fases del ciclo político se ilustran en la figura 5.16 (de Fanning et al., 2007). Este marco da cabida a la diversidad de disposiciones de los ciclos políticos y a los tipos de vinculación que se requieren para alcanzar las metas y los objetivos de la estrategia regional. Sobre la base de un análisis de los ciclos políticos existentes para identificar sus puntos fuertes y débiles, será necesario establecer y/o mejorar los ciclos y vínculos a múltiples escalas.



**Figura 5.16 La diversidad de partes interesadas y actividades asociadas a cada etapa del ciclo político (adaptado de Fanning et al., 2007)**

El PNUMA-PAC (como Secretaría del Protocolo FTCM) ha promovido activamente iniciativas nacionales, subregionales y regionales para abordar la contaminación por FTCM en múltiples escalas espaciales. El PNUMA-PAC también facilita los vínculos verticales entre los niveles nacional, subregional y mundial (por ejemplo, el Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra -GPA, GPNM) y los vínculos horizontales entre las etapas del ciclo político (por ejemplo, análisis y asesoramiento/toma de decisiones; véase la interfaz ciencia-política más abajo). El ciclo político de la contaminación por FTCM puede considerarse completo en el sentido de que hay margen para las cinco etapas políticas en el marco del PNUMA-PAC en relación con el Protocolo FTCM (Mahon et al., 2013). Sin embargo, no todos los países de la Región del Gran Caribe son partes del Convenio y del Protocolo FTCM. Hasta la fecha, solo 16 países han ratificado el Protocolo FTCM. Debido a la naturaleza transfronteriza de la contaminación por nutrientes y a la gran interconexión entre las ZEE de los países, es imperativo que todos los países ratifiquen y apliquen el Protocolo a tiempo.

Se necesitan ciclos políticos completos para la gestión de nutrientes también a nivel nacional. Estos deben establecerse en un marco de gestión integrada de las cuencas hidrográficas. Debe fomentarse y apoyarse la creación de un marco institucional nacional intersectorial (por ejemplo, un comité nacional intersectorial o un comité interministerial) para la gestión de los nutrientes, que luego se vincule al nivel subregional/regional. Entre los sectores/partes interesadas que deberían participar se encuentran los

organismos públicos pertinentes (medio ambiente, agricultura, turismo, pesca, sanidad, planificación y desarrollo, agua/saneamiento, etc.), los que producen, comercializan y utilizan nutrientes, así como los sectores privados que se ven afectados por la contaminación por nutrientes (por ejemplo, el turismo o la pesca). Estos mecanismos pueden facilitarse, por ejemplo, en el marco de los proyectos del FMAM, muchos de los cuales tienen como actividad o resultado previsto la creación de comités interministeriales nacionales.

### **Cooperación entre países que comparten ríos y acuíferos transfronterizos**

La presencia de grandes ríos transfronterizos y acuíferos de aguas subterráneas en la región requiere la cooperación entre los países pertinentes para la aplicación de medidas para hacer frente a la contaminación por nutrientes. Dicha cooperación es requerida por la Meta 6.5 de los ODS (Para 2030, aplicar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda, con el indicador asociado 6.5.2: Proporción de la zona de la cuenca transfronteriza con un acuerdo operativo para la cooperación en materia de agua). Esto requerirá el establecimiento o el fortalecimiento de políticas y mecanismos institucionales multinacionales (por ejemplo, el Tratado de Cooperación Amazónica entre Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela; el marco de coordinación institucional conjunto para la cuenca del Río Motagua propuesto en el marco del Proyecto PNUD-FMAM de Gestión Ambiental Integrada de la Cuenca del Río Motagua entre Guatemala y Honduras) y "Planes de Gestión de Cuencas Fluviales Comunes" entre los países para abordar la contaminación por nutrientes a la escala adecuada. El PNRSA de la RGC proporcionará otro mecanismo para facilitar los acuerdos de cooperación transfronteriza. La cooperación transfronteriza también podría facilitarse a través del Programa de Mares Regionales del PNUMA y de los proyectos LME.

### **Marco político y legislativo**

La aplicación efectiva del RNPRSAP debe estar respaldada por una política, una legislación y una normativa adecuadas en las escalas pertinentes, así como por una aplicación efectiva. Será necesario revisar las políticas y la legislación existentes para identificar las lagunas y los puntos débiles relacionados con la gestión de los nutrientes. Sobre la base de esta evaluación, puede ser necesario reformar y armonizar las políticas regionales/subregionales y las políticas, la legislación y los reglamentos sectoriales nacionales, así como desarrollar otros nuevos para apoyar la ejecución de las actividades de reducción de la contaminación por nutrientes. Como se ha comentado en el capítulo 4, en general, las políticas nacionales existentes no son lo suficientemente específicas para abordar la contaminación por nutrientes.

El Protocolo FTCM es el marco político regional relacionado con las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, incluidos los nutrientes. Sin embargo, puede ser necesario modificar el Protocolo para que abarque explícitamente los nutrientes y los vínculos entre el estado de las aguas costeras de la zona del Convenio con las actividades y prácticas del sector aguas arriba (enfoque de la cresta al arrecife). Varios proyectos anteriores y en curso del FMAM en la región incluyen un componente de revisión de políticas y legislación y reformas para la gestión integrada de los recursos naturales (por ejemplo, IWCAM, IWEco, CReW+). Estos proyectos pueden sentar las bases de un marco que puede adaptarse a la gestión integrada de nutrientes. El proyecto IWCAM del FMAM elaboró un conjunto de herramientas para las mejoras institucionales, políticas y legislativas en apoyo del enfoque IWCAM en los PEID del Caribe. A nivel nacional, es necesario pasar de los esfuerzos sectoriales compartimentados a la plena integración de las políticas y la legislación para la agricultura, la silvicultura, el medio ambiente, la pesca, el agua, la tierra, la planificación, la reducción de la pobreza, etc., que tengan en cuenta los vínculos entre aguas arriba y

aguas abajo dentro de una perspectiva de gestión de cuencas hidrográficas (FAO, 2006b). En general, la planificación basada en las cuencas hidrográficas que se integra en la planificación del desarrollo físico no se lleva a cabo en la mayoría de los países, aunque se han producido algunos avances.

### **Criterios y normas**

Los criterios y normas medioambientales son fundamentales para alcanzar los objetivos de calidad del agua. El Protocolo FTCM no especifica normas y límites para los vertidos de fuentes puntuales (vertidos de aguas residuales domésticas) y la calidad del agua relacionada con los nutrientes. Sin embargo, como ya se ha mencionado, el anexo II ofrece orientaciones para elaborar limitaciones de efluentes y emisiones específicas de las fuentes y prácticas de gestión. Como se mencionó anteriormente, para el informe de SOCAR, se adoptaron los criterios y límites de DIN, DIP, Chl a y DO para la calidad del agua costera de la EPA de EE.UU., pero éstos no han sido acordados o adoptados por todos los Estados miembros. Tal y como se ha comentado en los informes subregionales, los marcos políticos y legislativos relacionados con los nutrientes varían entre los países. Varios países tienen límites de vertido para el N y el P en las aguas residuales domésticas e industriales (fuentes puntuales), mientras que otros hacen más hincapié en los indicadores microbiológicos (patógenos fecales) en los efluentes de las aguas residuales domésticas y en la calidad de las aguas costeras para los usos designados, como la recreación y la pesca. Esto refleja la preocupación por los impactos de la mala calidad del agua en la salud humana, que tiene prioridad sobre los impactos en los ecosistemas costeros y marinos y los bienes y servicios que proporcionan. Esto pone de manifiesto la necesidad de realizar evaluaciones más integradas, por ejemplo, utilizando el marco Conductor-Presión-Estado-Impacto-Respuesta (DPSIR), incluyendo el valor de los bienes y servicios de los ecosistemas y los costes sociales y económicos directos e indirectos de la contaminación marina.

La determinación de la carga de nutrientes permitida para cumplir con los criterios y normas de calidad del agua y ecológicos es un elemento central de la estrategia, pero es muy difícil debido a las lagunas de datos y conocimientos, así como a las incertidumbres inherentes. Existen varios métodos de base científica que vinculan los objetivos de calidad del agua marina con las cargas de descarga de nutrientes. La EPA de EE.UU. (en virtud de la Ley de Aguas Limpias de EE.UU.) establece las listas de residuos de contaminantes que entran en una masa de agua para que ésta cumpla las normas de calidad del agua asociadas. (<https://www.epa.gov/tmdl/overview-total-maximum-daily-loads-tmdls>).

Véase PNUMA-PAC (1992) para un análisis de los criterios de calidad ambiental de las zonas costeras en la RGC.

### **Instrumentos políticos, cumplimiento y ejecución**

Existe una amplia gama de instrumentos políticos para abordar la contaminación por nutrientes. Véase, por ejemplo, el proyecto GNC del FMAM, Marco de políticas de gestión de nutrientes, base de datos de políticas de la GPNM (<http://www.nutrientchallenge.org/policy-database>), US EPA, USDA, Directiva Marco del Agua de la UE. La combinación adecuada de instrumentos políticos para las fuentes puntuales y no puntuales dependerá del contexto local/nacional, los objetivos, las metas, etc. Habrá que identificar y aplicar las reformas políticas y legislativas necesarias. El marco normativo de Estados Unidos, por ejemplo, incluye estados que tienen enfoques únicos para la gestión de nutrientes que no forman parte del programa federal.

Deben establecerse mecanismos que garanticen el cumplimiento de los requisitos reglamentarios, con un control adecuado del cumplimiento. Estos mecanismos incluyen el control de los vertidos de las fuentes reguladas, como las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, para determinar el cumplimiento y los mecanismos de aplicación eficaces en caso de incumplimiento. Será necesario establecer topes de carga de nutrientes en las cuencas hidrográficas y asignaciones de vertidos a las fuentes que sean de obligado cumplimiento. Como se ha comentado en el capítulo 4, los países se enfrentan a limitaciones de capacidad para la vigilancia y el cumplimiento, y emplean diferentes mecanismos, como que sea una autoridad reguladora la que se encargue de la vigilancia; que la autoridad reguladora recurra a un tercero con la capacidad necesaria (como CARPHA); y que las normativas hagan recaer sobre la industria la carga de la vigilancia rutinaria, con verificación de los resultados y controles puntuales (como la NEPA de Jamaica). Una herramienta basada en el mercado para controlar la contaminación por nutrientes de fuentes puntuales y no puntuales es el comercio de créditos de calidad del agua. Este enfoque, sin embargo, requiere el establecimiento de criterios numéricos y límites cuantitativos sobre la contaminación por nutrientes y otros datos e información que pueden no estar fácilmente disponibles.

Entre los instrumentos políticos para controlar la contaminación de las fuentes no puntuales de la agricultura se encuentran la asistencia financiera y técnica a los agricultores para la aplicación de las mejores prácticas de gestión y la protección del medio ambiente; los impuestos y las tasas; el comercio de créditos para la calidad del agua; y los programas de PSA en los que se paga a los agricultores y a los propietarios para que preserven o restauren los ecosistemas de sus tierras. En relación con esto último están las "servidumbres de conservación", que pueden ser una herramienta eficaz para proteger la tierra y son acuerdos jurídicamente vinculantes entre un terrateniente y un fideicomiso de tierras o una agencia gubernamental.

### **Seguimiento y recogida de datos**

Un componente esencial de una estrategia sólida y con base científica es un sistema de seguimiento para recopilar datos relevantes, con los objetivos de caracterizar las líneas de base, detectar las tendencias y fundamentar la gestión adaptativa y las respuestas políticas adecuadas, incluidas las decisiones sobre futuras oportunidades de inversión. Además, una gran proporción de las metas e indicadores de la estrategia están cubiertos por los ODS y propuestos en el Marco Mundial de la Biodiversidad del CDB para después de 2020, que los países deberían supervisar. Por lo tanto, los programas de seguimiento de estos marcos y de la contaminación por nutrientes (incluido el PCIE) se apoyarán mutuamente y deberán reforzarse las posibles sinergias. Además, es necesario recopilar datos empíricos para contrastar los resultados de los modelos analíticos utilizados en el desarrollo de la estrategia. La escasa capacidad general de seguimiento, datos (incluidos los georreferenciados) e información sobre la contaminación por nutrientes, sus fuentes e impactos ambientales y sus consecuencias socioeconómicas es uno de los principales obstáculos para la gestión de los nutrientes en la región.

La naturaleza multifacética del desafío de los nutrientes exige un programa de seguimiento coordinado, holístico e integrado en todos los pilares. Es necesario un programa de seguimiento racionalizado, armonizado y vinculado a todas las escalas (desde la nacional hasta la subregional y regional), pero actualmente no existe un programa de seguimiento de este tipo en la región. A nivel nacional, el nitrógeno y el fósforo en las aguas costeras son controlados por un número significativo de países. Sin embargo, en general el seguimiento es esporádico y descoordinado entre los sectores pertinentes, y se centra en el seguimiento de la calidad del agua. Entre los países de la Región del Caribe que cuentan con programas

de seguimiento bien establecidos y a largo plazo, existe una gran disparidad en los indicadores (especies de N y P) que se controlan, así como en los protocolos de muestreo y las técnicas analíticas utilizadas (como se puso de manifiesto durante la elaboración del SOCAR y en los informes subregionales).

El SOCAR ofrece una serie de recomendaciones para establecer programas de seguimiento. Además, la Agenda de Investigación sobre la Contaminación del CLME+ (Acosta et al., 2020) identifica temas prioritarios relacionados con el seguimiento (<https://clmeplus.org/a-research-agenda-for-the-wider-caribbean-region/>), incluyendo el desarrollo de normas y criterios regionales para los vertidos de nutrientes; la identificación de indicadores regionales para el seguimiento de los vertidos de nutrientes en el medio marino; y la mejora del seguimiento de base científica en respuesta a las metas y objetivos de gestión.

Un programa de seguimiento debería implicar a todos los sectores y organismos pertinentes e incorporar la "ciencia ciudadana" como un enfoque rentable para recoger ciertos tipos de datos e información. Los requisitos esenciales para un programa de seguimiento sólido son un personal formado adecuado y la capacidad de los laboratorios de seguimiento, muestreo y análisis, así como la capacidad de análisis de datos. En la región existen varios laboratorios nacionales de medio ambiente, pero puede ser necesario mejorar su capacidad para trabajar con los nutrientes. Los esfuerzos actuales de desarrollo de capacidades a través de varios proyectos financiados externamente deberían continuar, pero vinculados a un compromiso de institucionalizar también los programas nacionales de seguimiento y evaluación y de generar datos e información medioambiental nacional para apoyar la toma de decisiones y el establecimiento de políticas. Un requisito esencial en lo que respecta a la recopilación de datos será la garantía y el control de calidad de los mismos.

Para optimizar el seguimiento, será necesario clasificar las aguas marinas (Clase I y Clase II) y determinar el estado de eutrofización de las distintas zonas marinas (por ejemplo, zonas problemáticas o puntos calientes, zonas potencialmente problemáticas y zonas sin problemas de eutrofización). Sobre la base de esta selección, puede aplicarse el nivel adecuado de esfuerzo de seguimiento en las distintas zonas (véase, por ejemplo, el Programa OSPAR de Seguimiento de la Eutrofización [https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/OSPAR/CEMP\\_guidelines\\_for\\_coordinated\\_monitoring\\_fore\\_trophication\\_CAMPandRID.pdf](https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/OSPAR/CEMP_guidelines_for_coordinated_monitoring_fore_trophication_CAMPandRID.pdf)).

### **Herramientas y marcos analíticos**

Los gestores y los responsables de la toma de decisiones deben estar mejor equipados con herramientas que ayuden a orientar la planificación de la reducción de nutrientes de forma rentable en las cuencas hidrográficas, lo que en última instancia conducirá a la reducción del exceso de nutrientes en el medio ambiente costero y marino. Entre ellas se encuentran los modelos de predicción de la calidad del agua y de la carga para predecir los aportes de contaminación a la masa de agua receptora desde fuentes puntuales y no puntuales y la respuesta de la masa de agua a esos aportes, así como para estimar la carga máxima de nutrientes permitida y la reducción de carga requerida.

En el recuadro 5.1 se describe un marco analítico desarrollado en el marco del proyecto GEF-GNC.

**Cuadro 5.1.**

El proyecto GNC del FMAM ha desarrollado un marco analítico denominado Análisis de Oportunidades de Reducción de la Contaminación (PROA) que puede servir como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el establecimiento de las asignaciones. El PROA está diseñado para ayudar a identificar las soluciones más rentables para la reducción de la contaminación de una manera holística. La metodología incluye los siguientes pasos 1. Se identifican todas las fuentes del contaminante en cuestión; 2. Se estiman las cargas de contaminantes de cada fuente y/o sector; 3. Se identifican los métodos para reducir las cargas descargadas de cada fuente y/o sector; 4. Se identifica el potencial de reducción de carga de cada fuente/sector; 5. Se estima el coste de lograr reducciones de carga para cada fuente/sector sobre la base de una unidad de masa (kg por año); 6. Los resultados se grafican de manera que muestren claramente el potencial de reducción y la rentabilidad de cada método y sector (WRI, 2017). El PROA se probó para Filipinas (véase [http://www.nutrientchallenge.org/sites/default/files/documents/GNC-Publications/D2-2-2\\_Pollution%20reduction%20analyses.pdf](http://www.nutrientchallenge.org/sites/default/files/documents/GNC-Publications/D2-2-2_Pollution%20reduction%20analyses.pdf))

**Sistema de gestión de datos y apoyo a la toma de decisiones**

La gestión de datos y los sistemas de apoyo a la toma de decisiones a nivel nacional vinculados a un sistema regional (y posiblemente a los sistemas subregionales de la OECO y el SICA/CCAD, así como a Brasil y los territorios franceses) serán fundamentales. Los sistemas existentes o previstos, como el sistema de apoyo a la toma de decisiones que está desarrollando el PNUMA-PAC en el marco de los proyectos IWECO y CREW+ del FMAM, deberían evaluarse para incorporar datos e información que sirvan a los fines del RNPR SAP. La GPNM-Caribe, actualmente facilitada a través de la Secretaría del Convenio de Cartagena y los Centros de Actividad Regional (CAR) del Protocolo FTCM, desempeñará un papel importante en el intercambio de conocimientos. Esta plataforma también se utilizará para facilitar el intercambio y la transferencia de conocimientos sobre las mejores prácticas y los estudios de casos relacionados con la gestión de nutrientes y sedimentos entre los gestores y las partes interesadas (véase la plataforma en línea de la GPNM en <http://nutrientchallenge.org/>).

**Investigar**

Las políticas de gestión de las cuencas hidrográficas deben basarse en las mejores pruebas científicas disponibles y tener en cuenta los conocimientos locales y tradicionales. Habrá que esforzarse por identificar, recopilar y evaluar los conocimientos locales y tradicionales pertinentes para la contaminación por nutrientes. El Instituto de Pesca del Golfo y el Caribe (GCFI) y los expertos regionales elaboraron una Agenda de Investigación sobre la Contaminación para la región del CLME+ centrada en uno de los objetivos generales del Programa de Acción Estratégica (SAP) del CLME+ (Ampliar la base de conocimientos necesaria para la reducción eficiente y rentable de la contaminación por FTCM en el CLME+) (Acosta et al., 2020). Este informe identifica los desafíos para desarrollar, obtener y utilizar la mejor evidencia científica disponible, que van desde la baja capacidad para producir o acceder a la evidencia científica relevante, hasta la escasa comunicación de la ciencia a los tomadores de decisiones, y los procesos de gobernanza que están inadecuadamente estructurados para la asimilación del asesoramiento científico.

A partir de una encuesta realizada entre los responsables de la toma de decisiones a nivel regional, la Agenda de Investigación sobre la Contaminación del CLME+ identifica una serie de temas de investigación

dentro de cinco temas de investigación: Ciencia de la contaminación, Vigilancia, Gobernanza, Temas de investigación económica y Comunicaciones. Aunque muchos de los temas de investigación son relevantes para los nutrientes, varios de ellos se refieren explícitamente a ellos (<https://clmeplus.org/a-research-agenda-for-the-wider-caribbean-region/>). Uno de los dos temas mejor clasificados en cuanto a las prioridades de investigación sobre la contaminación es "Desarrollar enfoques eficaces de promoción (por ejemplo, grupos de presión, influencia sobre los responsables de la toma de decisiones) que den lugar a una disminución de los impactos de la contaminación marina en el medio ambiente y la sociedad", en el marco de la Comunicación/Objetivo (Crear o permitir políticas y legislación que contribuyan a la reducción de la contaminación marina). Otra área es el compromiso de la comunidad académica y de investigación en la creación de capacidades para el monitoreo, así como el desarrollo/innovación de tecnología para la recuperación de nutrientes.

Un marco coordinado y armonizado para la investigación relevante para las políticas, la recopilación de datos y el intercambio de información para apoyar los procesos científicos y de toma de decisiones en la región es un paso necesario para garantizar una capacidad nacional y regional adecuada para producir conocimientos e información relevantes para la gestión de nutrientes. El Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030) ofrecerá oportunidades para apoyar la investigación y la creación de capacidades en la región (<https://oceandecade.org/>). Uno de los objetivos del Decenio de las Naciones Unidas es proporcionar un marco común para garantizar que las ciencias oceánicas puedan apoyar plenamente a los países en la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. El resultado 1 del Decenio de las Naciones Unidas es: Un océano limpio en el que se identifiquen, reduzcan o eliminen las fuentes de contaminación. Entre los retos identificados por los participantes en el Taller Regional del Atlántico Tropical Occidental (WTA) del Decenio de las Naciones Unidas (México, 28 y 29 de abril de 2020) se encuentran las "importantes lagunas en los datos y la investigación en relación con los tipos, las fuentes, las concentraciones y los canales de los contaminantes marinos en el WTA", con la acción correspondiente para "mejorar la comprensión, a través de un programa armonizado de recopilación de datos, análisis e investigación en toda la región, del flujo y los impactos de todos los contaminantes en el WTA, transformando la toma de decisiones, facilitando medidas específicas de prevención de la contaminación, para sostener y catalizar un uso más sostenible de nuestros recursos costeros y marinos". La Asamblea General de las Naciones Unidas ha encargado a la COI-UNESCO el diseño del Decenio de las Ciencias del Mar. El Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030) también ofrecerá oportunidades para reforzar las capacidades, y una de las tres vías para su aplicación (la vía III) tiene por objeto crear capacidades técnicas para aplicar la ciencia y la tecnología a la restauración de los ecosistemas, y catalizar y acelerar la acción sobre el terreno.

### **Interfaz científico-política**

Los vínculos entre las fases de análisis y decisión del ciclo político (véase más arriba) son fundamentales para una gestión eficaz. Sin embargo, estas etapas suelen ser las más débiles en la gestión de los recursos marinos. Entre las limitaciones para el uso de la ciencia en la formulación de políticas y la toma de decisiones se encuentran la escasa capacidad, el hecho de que la ciencia no se proporcione en un formato relevante para las políticas, la falta de acceso fácil a las bases de datos y la escasa demanda de ciencia por parte de las políticas (McConney et al., 2016). Los esfuerzos deben centrarse en establecer o mejorar los mecanismos para el análisis y la prestación de asesoramiento de forma periódica y oportuna y garantizar que los responsables de la toma de decisiones lo tengan en cuenta en los foros adecuados (Fanning et al., 2007).

En el marco del Protocolo FTFCM existe un mecanismo regional para facilitar la interfaz entre ciencia y política, que consiste en el STAC, que proporciona asesoramiento y recomendaciones para la toma de decisiones a la Conferencia de las Partes. El STAC recibe las aportaciones del Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación del FTFCM, que está compuesto por los puntos focales nacionales y los expertos nacionales y regionales pertinentes. Un elemento vital de este mecanismo son los FTFCM CAR (Instituto de Asuntos Marinos - IMA, y el Centro de Investigación y Gestión Medioambiental del Transporte -CIMAB), y la Red de Actividades Regionales (RAN) de instituciones técnicas y personas (incluyendo gubernamentales, intergubernamentales, no gubernamentales y académicas y científicas) que proporcionan aportaciones, revisión por pares y experiencia a través de los CAR pertinentes. A nivel subregional, el SICA/CCAD y la Comisión de la OECO tienen sus respectivos mecanismos para facilitar la incorporación de la ciencia a la política, que deberían estar vinculados al mecanismo regional. El mecanismo del Protocolo LBS debería reforzarse para generar conocimientos científicos y proporcionar asesoramiento sobre la gestión de nutrientes, por ejemplo, incluyendo explícitamente el trabajo sobre nutrientes en los mandatos de los distintos organismos y estableciendo un grupo de trabajo técnico regional sobre nutrientes. A nivel nacional, existen varios mecanismos en los países para facilitar la interfaz ciencia-política. El GPA y el GPNM-Caribe son otros dos mecanismos importantes. Es crucial que todos estos elementos estén vinculados para permitir una interfaz ciencia-política operativa y eficaz.

La evaluación y la presentación de informes son herramientas esenciales para comunicar la ciencia a los responsables políticos y a otras partes interesadas. En este sentido, es necesario apoyar y mantener los informes sobre el estado del medio ambiente, como el informe regional de SOCAR PNUMA-PAC y el informe sobre el estado del medio ambiente marino y las economías asociadas (SOME) y el mecanismo de evaluación e información del SOME (que se está creando en el marco del proyecto CLME+). Debería considerarse la posibilidad de elaborar productos provisionales, como tarjetas de informe sobre la salud de los ecosistemas (por ejemplo, la tarjeta de informe sobre la salud de los ecosistemas del GNC), centrados en los nutrientes.

### **Divulgación y compromiso de las partes interesadas/concienciación y educación del público**

Los programas de divulgación y participación de las partes interesadas y de sensibilización y educación del público, dirigidos a las principales partes interesadas y al público en general, son necesarios para concienciar al público sobre los impactos de los nutrientes en las aguas de la RGC y para obtener apoyo y aceptación de la estrategia. El anexo IV del Protocolo FTFCM exige la creación de programas de educación, formación y sensibilización. El desarrollo de asociaciones entre el sector público y el privado será fundamental para apoyar la aplicación de las BMP en las zonas seleccionadas.

Los programas de educación para los agricultores sobre los impactos de la agricultura en los ríos locales y aguas abajo, las aguas subterráneas y las aguas costeras son fundamentales para fomentar el cambio voluntario. También serán necesarios programas de educación y asistencia técnica para los agricultores, no sólo para gestionar los nutrientes, sino para demostrarles cómo pueden beneficiarse de la mejora de la calidad del suelo, el aumento de los rendimientos y el ahorro de costes. Proporcionar una mayor asistencia técnica en torno a la gestión de los nutrientes y otras prácticas agrícolas recomendadas en los países en desarrollo es una excelente manera de gestionar los nutrientes de forma rentable, al mismo tiempo que se apoya la mejora de los medios de vida, incluso de las mujeres. Los programas de asistencia técnica deberían incluir proyectos de demostración de las prácticas agrícolas más eficaces, así como una estrategia de reproducción y ampliación, y planes financieros asociados que permitan la sostenibilidad. A

la hora de desarrollar programas de educación y asistencia técnica para los agricultores, será esencial garantizar que las mujeres y los grupos indígenas estén adecuadamente representados.

Será importante documentar y comunicar a las partes interesadas los resultados de las iniciativas de gestión de nutrientes. Los resultados, incluidos los costes y beneficios cuantitativos, deben ser analizados y documentados para cada práctica de gestión y cuenca hidrográfica. Estos resultados deben presentarse de manera que transmitan mensajes claros, concisos y comprensibles a las partes interesadas, los organismos reguladores y las organizaciones participantes.

### **Desarrollo de capacidades/transferencia de conocimientos**

El fortalecimiento de la capacidad en una serie de habilidades técnicas y blandas entre los profesionales de la gestión de las cuencas hidrográficas y de los recursos hídricos, los organismos gubernamentales, los servicios de agua y aguas residuales, los agricultores y otras partes interesadas son condiciones importantes para la aplicación de una estrategia exitosa de reducción de nutrientes. Los programas de desarrollo de capacidades deben desarrollarse a partir de una evaluación de las necesidades de capacidad a nivel local, nacional y regional. Deberían incluir programas de formación sobre las mejores prácticas de gestión; transferencia de tecnología e intercambio de información; refuerzo de los servicios de extensión agraria y programas de asistencia técnica para los agricultores; seguimiento medioambiental y socioeconómico y gestión de datos; evaluaciones; refuerzo de la capacidad de los laboratorios; modelización analítica, incluida la reducción de escala de los modelos globales (véase la calculadora del modelo Global NEWS en la caja de herramientas de gestión global de nutrientes de la GPNM); uso de datos de teledetección por satélite; y refuerzo de la capacidad de los países para acceder a la financiación. Será de vital importancia la capacidad de planificación y evaluación de escenarios de aplicación de prácticas para controlar la contaminación por nutrientes, así como la previsión de los resultados deseados para orientar la toma de decisiones. Los proyectos de demostración de las BMP y de otros temas relevantes, con estrategias para su reproducción y ampliación y la difusión de las lecciones, son un componente importante del fortalecimiento de la capacidad. Los resultados y las lecciones de los proyectos pertinentes, tanto los que ya se han completado como los que están en curso (por ejemplo, RepCar, IWCAM, CReW, IWEco, CReW+ y los estudios de caso del GPNM Toolkit) son recursos valiosos para informar sobre las intervenciones de gestión de nutrientes en la Región del Gran Caribe. Una plataforma de fácil acceso y uso para el intercambio/transferencia de conocimientos sobre las mejores prácticas y los estudios de casos relacionados con la gestión de nutrientes y sedimentos, vinculada a otras plataformas como la plataforma de la GPNM y la Red Internacional de Intercambio de Recursos Hídricos del FMAM (IWLEARN), será fundamental para promover un cambio transformador. Véanse las recomendaciones de SOCAR para el desarrollo de capacidades y la Agenda de Investigación sobre la Contaminación del CLME+.

### **Recursos financieros**

El desarrollo de mecanismos financieros innovadores y una financiación asequible para ayudar a los países a abordar la contaminación de origen terrestre es de alta prioridad en la región (PNUMA-PAC 2019). Una de las prioridades de la Agenda de Investigación de la Contaminación del CLME+ es el desarrollo de un plan de inversión que esboce y costee las acciones prioritarias para reducir las fuentes de contaminación que causan impactos sustanciales en los bienes y servicios de los ecosistemas de importancia crítica para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico sostenido. Debería elaborarse una estrategia/plan de financiación, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Aprovechamiento de fondos de múltiples fuentes y mecanismos (por ejemplo, financiación del sector público, inversión del sector privado, bancos de desarrollo, donantes internacionales y mecanismos como el Programa de Pequeñas Subvenciones del FMAM, fondos fiduciarios, fondos rotatorios).
- Programas de incentivos económicos y no económicos y soluciones innovadoras basadas en el mercado.
- Instrumentos económicos (impuestos, tasas, bonos, canjes de deuda por naturaleza, etc.).
- Análisis coste-beneficio de intervenciones específicas.
- Posibles oportunidades de inversión.
- Oportunidades de colaboración o aprovechamiento de iniciativas terminadas y en curso que apoyen la gestión de nutrientes (incluida la aplicación de la Estrategia Regional de Hábitats).
- Valoración de los bienes y servicios de los ecosistemas que probablemente se vean afectados por la contaminación por nutrientes.
- Cuantificación de las pérdidas económicas causadas por la contaminación por nutrientes.

El proyecto CReW del FMAM desarrolló y probó una guía de recursos de valoración económica (Grey et al., 2015) para ayudar a los países a justificar mejor las inversiones en el tratamiento de aguas residuales (<https://www.gefcrew.org/index.php/resources#resources6>). Esta guía puede ayudar a los responsables de la toma de decisiones a sopesar las compensaciones entre los tipos de inversión en infraestructuras de aguas residuales, como las infraestructuras naturales (por ejemplo, la conservación de los humedales) frente a las infraestructuras de ingeniería (como las instalaciones de tratamiento de aguas residuales). Otros productos del CReW del FMAM proporcionan información relevante para la financiación del tratamiento de residuos en la región (<https://www.gefcrew.org/index.php/publications>).

Con el apoyo financiero del Proyecto CLME+ del PNUD/FMAM, la Ocean Foundation está apoyando a la Secretaría del Convenio de Cartagena en el desarrollo de un plan de inversión integrado de restauración de hábitats y reducción de la contaminación para la región CLME+.

## 5.6 APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

El RRPRSAP es una herramienta que orienta la aplicación nacional, subregional y regional de las acciones para hacer frente a la contaminación por nutrientes de la zona del Convenio de Cartagena. Se aplicará principalmente mediante acciones a nivel nacional, con el apoyo de instituciones y socios internacionales, regionales y subregionales. La alineación de la estrategia con la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, el Marco Global de Biodiversidad Post-2020 del CDB, la Declaración de Colombo y las Declaraciones de la UNEA, así como con el Protocolo LBS del Convenio de Cartagena y otros AMUMA pertinentes, significa que su aplicación apoyará, de manera más rentable, el logro de las metas y objetivos de estos marcos y viceversa. Además, el calendario de 2021-2030 para la aplicación de esta estrategia está en consonancia con el Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible, el Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas y la Estrategia Regional de Hábitats. La coordinación a todos los niveles y las asociaciones estratégicas serán esenciales para una aplicación rentable y eficiente de la estrategia.

Esta sección propone un marco institucional, que incluye las principales funciones y responsabilidades potenciales de las distintas partes interesadas en la aplicación de la estrategia. A continuación, se presenta

un marco de acción (sección 5.7) para alcanzar los objetivos y metas de la estrategia a nivel regional, subregional y nacional.

### 5.6.1 Marco de aplicación institucional

La aplicación del RNPRSAP requerirá un marco institucional a escala múltiple, como se describe en el pilar 9 (condiciones propicias). Esto implicará la participación de partes interesadas que representen todas las etapas del ciclo político a todos los niveles, desde el local/nacional hasta el subregional y el regional, pasando por el mundial (ministerios y organismos gubernamentales pertinentes, sector privado, instituciones técnicas nacionales y regionales, mundo académico, organismos de integración política subregional, acuerdos de gobernanza de cuencas transfronterizas y organizaciones regionales e internacionales, entre otros). Un papel esencial para los organismos mundiales, regionales y subregionales será contribuir al desarrollo de las condiciones propicias para la aplicación de la estrategia. Entre los actores clave se encuentran:

**A nivel mundial:** PNUMA, FAO, OMI, GPA, GPNM, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS).

**Nivel regional:** PNUMA-CAR/UCR Secretaría del Convenio de Cartagena (responsable de coordinar la aplicación del RNPRSAP con el apoyo del FTCM/CAR/RAN, el FTCM-STAC y el Grupo de Trabajo de Seguimiento y Evaluación), GPNM-Caribe.

**Nivel subregional:** CARICOM, SICA/CCAD, OECS y OTCA - Apoyar la aplicación de la estrategia entre los Estados miembros, integrando la estrategia y el plan de acción en sus programas pertinentes; y facilitar la participación de las partes interesadas y la sensibilización.

**A nivel nacional:** Las Partes Contratantes del Convenio de Cartagena y del Protocolo FTCM y los países no contratantes) serán responsables de aplicar las acciones requeridas a nivel nacional y local. Esto implicará la creación de las condiciones propicias a nivel nacional. El aumento de la ratificación del Convenio y del Protocolo contribuirá en gran medida a la consecución de los objetivos de la estrategia.

**Asociaciones:** Las asociaciones con las partes interesadas técnicas y programáticas de la sociedad civil, el sector privado y el mundo académico, entre otros, y el compromiso con las instituciones financieras serán fundamentales para apoyar el despliegue de la estrategia y el plan de acción.

## 5.7 MARCO DE ACTUACIÓN

A continuación, se presenta un marco de acción para la aplicación de la RNPRSAP. Se trata de actividades a nivel regional y subregional, así como a nivel nacional, necesarias para alcanzar los objetivos y metas de la estrategia (y otros objetivos que puedan identificar las partes interesadas). El éxito final en la lucha contra la contaminación por nutrientes, al tiempo que se obtienen beneficios socioeconómicos, depende de las acciones a nivel nacional y local, vinculadas y apoyadas por las acciones a nivel regional y mundial. Las acciones deben ser prioritarias, específicas y mensurables para garantizar que los recursos limitados se asignen donde más se necesitan. En la medida de lo posible, las múltiples actividades deben ejecutarse en paralelo, en lugar de hacerlo de forma secuencial.

Se hace hincapié en que la estrategia regional y el marco de acción deben adaptarse según convenga a los contextos locales/nacionales, incluyendo la(s) principal(es) fuente(s) de contaminación por nutrientes y

las cuencas hidrográficas o zonas costeras prioritarias. El contexto local/nacional ayudará a orientar la selección de las medidas de gestión y las BMP que se aplicarán, así como el calendario.

El calendario de aplicación de la estrategia (2021-2030) está en consonancia con el calendario de los objetivos mundiales (ODS, Marco Mundial de la Biodiversidad después de 2020 y Declaración de Colombo), aunque en este momento se desconoce el tiempo de respuesta del sistema a las intervenciones de reducción de nutrientes. Por lo tanto, el calendario de la estrategia se divide en dos bloques de 5 años cada uno, con el primer período de tiempo centrado principalmente en el establecimiento de condiciones propicias y los preparativos, y el segundo en la aplicación sobre el terreno. Sin embargo, hay que tener en cuenta las diferencias de capacidad, marcos institucionales y políticos, etc. entre los países, ya que algunos necesitarán más tiempo que otros para aplicar la estrategia. El fortalecimiento de la capacidad, las asociaciones estratégicas y la financiación sostenible serán vitales para apoyar la aplicación.

Véase también el marco de seguimiento en el anexo 5.4.

**Tabla 5.22 MARCO DE ACCIÓN (2021-2030)**

LÍNEA DE ACCIÓN/ HITO	ACTIVIDADES	INDICATIVO PLAZO
<b>NIVEL REGIONAL (PNUMA CAR/RCU, Secretaría del Convenio de Cartagena)</b>		
Adopción del RNPRSAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Revisión del RNPRSAP por parte del FTCM -STAC y adopción por parte del FTCM/COP</li> <li>Desarrollar un marco de M &amp; E para seguir y evaluar el progreso en la implementación de la estrategia.</li> </ul>	2021
Marco político e institucional	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover la ratificación del Convenio y del Protocolo FTCM entre los países no miembros.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recomendar y facilitar las enmiendas necesarias al Protocolo FTCM para cubrir explícitamente los nutrientes y los vínculos entre el estado de las aguas costeras de la zona del Convenio con las actividades y prácticas del sector aguas arriba. Esto puede incluir la consideración de un nuevo anexo dedicado a los nutrientes.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilitar la puesta en marcha de la GPNM-Caribe.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las oportunidades para fortalecer el Grupo de Trabajo de M &amp; E del FTCM/CAR para la gestión de nutrientes.</li> </ul>	2021-2030
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facilitar la coordinación en la implementación de la RNPRSAP y la Estrategia de Hábitats por parte de los estados miembros.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer/fortalecer asociaciones estratégicas con organizaciones regionales e internacionales, instituciones académicas, entre otras, incluso a través del acuerdo de asociación CLME+.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colaborar con la OMI para reforzar los mecanismos para abordar la contaminación por nutrientes de origen marino.</li> </ul>	2021-2025
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colaborar con los mecanismos de integración política subregional (CARICOM, OECS, SICA/CCAD) y con la OTCA para integrar la gestión de la contaminación por nutrientes en sus respectivos programas y apoyar la reducción de escala y la aplicación del RNPRSAP en los Estados miembros (a través del Mecanismo de Coordinación Provisional/Mecanismo de Coordinación a Largo Plazo del CLME+).</li> </ul>	2021-2025
Recursos financieros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaborar/ejecutar planes de inversión para la reducción de la contaminación en la región del CLME+ (basados en el plan de inversión</li> </ul>	2021-2030

	<p>integrado de restauración de hábitats y reducción de la contaminación para la región del CLME+ elaborado por la Secretaría del Convenio de Cartagena con el apoyo de la Ocean Foundation). El plan debe esbozar y costear acciones de alta prioridad para reducir las fuentes de contaminación por nutrientes que causan impactos sustanciales en los bienes y servicios de los ecosistemas de importancia crítica para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico sostenido.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar oportunidades de apoyo financiero e inversiones a través de proyectos (por ejemplo, seguimiento del Proyecto CLME+), asociación con instituciones financieras (por ejemplo, Banco de Desarrollo del Caribe, Banco de Desarrollo Agrícola, Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo) y donantes bilaterales y multilaterales, entre otros.</li> <li>• Aprovechar los recursos financieros para la aplicación de la estrategia.</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2021-2030</p>
Desarrollo de capacidades y asistencia técnica a los Estados miembros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar el desarrollo de capacidades de los Estados miembros (programas regionales de desarrollo de capacidades, proyectos piloto y estrategia de réplica y ampliación, recopilación y difusión de lecciones y experiencias, facilitación de asociaciones con países que tienen estrategias de reducción de la contaminación por nutrientes, etc.).</li> <li>• Facilitar la transferencia de tecnologías a los Estados miembros y promover el desarrollo y/o la adaptación de tecnologías específicas para la región.</li> <li>• Facilitar el acceso de los Estados miembros a las herramientas, los datos y la información, incluso mediante la producción de una caja de herramientas regional (similar a la caja de herramientas del FMAM-GNC).</li> <li>• Establecer un grupo de acción/experto regional dedicado a la contaminación por nutrientes.</li> <li>• Proporcionar apoyo técnico y de otro tipo a los Estados miembros a través del grupo de expertos y de los FTCM CAR/RAN para la realización de actividades de apoyo a la aplicación del RNPRSAP a nivel nacional y, en su caso, local.</li> <li>• Apoyar a los países en el desarrollo de programas nacionales de acción para la aplicación del RNPRSAP a nivel nacional y local, y la aplicación del Protocolo FTCM y otros acuerdos multilaterales sobre medio ambiente pertinentes que contribuyen a la reducción de la contaminación por nutrientes (por ejemplo, a través del proyecto ACP AMUMA) para lograr múltiples objetivos ambientales y socioeconómicos, incluidos los ODS, de una manera coordinada, racionalizada y rentable.</li> <li>• Catalizar la adopción por parte de los Estados miembros de un enfoque de gestión integrada de las cuencas hidrográficas que vincule la calidad del agua costera con las actividades y prácticas en las cuencas hidrográficas.</li> </ul>	<p>2021-2030</p> <p>2025-2030</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2025 2021-2030</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2030</p>
Seguimiento, evaluación e informes regionales, comunicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recomendar criterios, normas y límites regionales para los nutrientes en los efluentes de aguas residuales domésticas e industriales para que los apruebe el FTCM COP</li> <li>• Identificar un conjunto de sitios de monitoreo prioritarios que cubran la RGC y desarrollar un protocolo detallado de monitoreo de nutrientes.</li> <li>• Identificar y recomendar un conjunto de objetivos e indicadores específicos de la región (para complementar los ODS, el Marco Global</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2025-2030</p> <p>2021-2025</p>

	<p>de Biodiversidad Post-2020 y otros objetivos e indicadores globales relevantes) para su aprobación por el FTCM COP y facilitar el desarrollo de un programa de monitoreo regional armonizado que sea implementado por los estados miembros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar y cartografiar cuantitativa y cualitativamente las fuentes terrestres y marinas de nutrientes a través de enfoques multidisciplinarios (muestreo de campo, estaciones fijas de monitoreo, teledetección).</li> <li>• Identificar y cartografiar los ecosistemas más afectados y los impactos socioeconómicos más importantes.</li> <li>• Facilitar la evaluación periódica regional y la presentación de informes sobre la contaminación por nutrientes, con la producción y difusión de productos de conocimiento innovadores, tales como tarjetas de informe (con aportaciones de los Estados miembros).</li> <li>• Identificar y hacer un seguimiento de los problemas emergentes relacionados con la contaminación por nutrientes.</li> <li>• Establecer un sistema regional de gestión de datos y de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de nutrientes (basándose en el sistema previsto o existente en otros programas).</li> <li>• Recurrir a la red regional de laboratorios medioambientales acreditados para apoyar el seguimiento regional.</li> <li>• Ayudar a los Estados miembros a clasificar sus aguas marinas (Clase I y Clase II) y a determinar el estado de eutrofización de las aguas marinas de la Región del Caribe.</li> </ul>	<p>2021-2030</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2030</p> <p>2021-2030</p> <p>2025-2030</p> <p>2021-2030</p> <p>2021-2025</p>
<b>NIVEL NACIONAL</b>		
Marcos y mecanismos institucionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Designar un organismo o mecanismo apropiado para coordinar las actividades de gestión integrada de nutrientes utilizando un enfoque de cuenca, de cresta a arrecife.</li> <li>• Apoyar la creación o reforzar los comités nacionales intersectoriales o interministeriales existentes para abordar la contaminación por nutrientes.</li> <li>• Revisar el marco institucional existente para identificar las lagunas y debilidades relacionadas con la gestión de nutrientes.</li> <li>• Iniciar el proceso de reforma y armonización para garantizar un marco institucional adecuado para la gestión de nutrientes. Esto debería incluir un organismo intersectorial, asociaciones público-privadas, etc. y facilitar los vínculos locales/nacionales/regionales.</li> <li>• En el caso de las cuencas hidrográficas y los acuíferos subterráneos transfronterizos, establecer y poner en funcionamiento un marco de cooperación entre los Estados afectados.</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2025</p> <p>2025-2030</p>
Gestión de las cuencas fluviales transfronterizas y de los acuíferos subterráneos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer o reforzar el acuerdo y el mecanismo de cooperación para las cuencas fluviales transfronterizas (compartidas) y los acuíferos subterráneos.</li> <li>• Desarrollar "planes comunes de gestión de cuencas fluviales" entre los países pertinentes.</li> </ul>	<p>2025-2030</p> <p>2025-2030</p>
Compromiso de las partes interesadas y comunicación/ sensibilización del público	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar a las partes interesadas clave a nivel nacional y local y desarrollar/implementar una estrategia para la participación de las partes interesadas y una campaña de concienciación sobre los nutrientes, vinculada a la estrategia regional; elevar la cuestión de los nutrientes en la agenda nacional.</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2021-2025</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar los mecanismos de comunicación entre los sectores pertinentes y entre los científicos de las cuencas hidrográficas y los responsables políticos (considerar el establecimiento de un mecanismo intersectorial que esté vinculado al nivel subregional/regional).</li> <li>• Establecer asociaciones estratégicas, incluidas las asociaciones público-privadas.</li> </ul>	2021-2030
Política, legislación y marcos normativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar los marcos políticos y legislativos para identificar las lagunas, los puntos débiles y las barreras que impiden la aplicación efectiva de la estrategia.</li> <li>• Adherirse y aplicar el Convenio de Cartagena y el Protocolo FTCM (según proceda).</li> <li>• Integrar el RNPRSAP en los marcos nacionales de planificación y desarrollo; iniciar el proceso de reforma y armonización para garantizar un marco político y legislativo coherente que vincule la calidad del agua aguas abajo con las prácticas aguas arriba en los sectores de las aguas residuales domésticas, la agricultura y la industria; y promover el cumplimiento de las directrices, normas y límites nacionales.</li> <li>• Establecer normas y límites de N y P para los efluentes domésticos e industriales, y la calidad del agua para los usos designados.</li> <li>• Integrar los objetivos y metas de gestión de nutrientes en la política y la legislación.</li> <li>• Reforzar los mecanismos de compensación a las personas afectadas por las pérdidas, y de cumplimiento y aplicación.</li> <li>• Reforzar la aplicación de los acuerdos multilaterales sobre medio ambiente y otros compromisos (ODS) que sean pertinentes para la gestión de los nutrientes.</li> </ul>	2021-2025 2021-2025 2021-2030 2025-2030 2025-2030 2025-2030 2021-2030
Caracterizar y priorizar las cuencas hidrográficas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las cuencas hidrográficas prioritarias que, individual o colectivamente, representan una parte sustancial de las cargas de nutrientes (por ejemplo, más del 75%). Criterios a determinar por los países.</li> <li>• Identificar las principales fuentes de carga de nutrientes en las cuencas prioritarias (por ejemplo, aguas residuales domésticas, agricultura/ganadería, industrias).</li> <li>• Recoger datos de referencia en las cuencas prioritarias, incluyendo el uso de la tierra, el uso de fertilizantes, la eficiencia en el uso del nitrógeno, las fuentes de N y P y su magnitud, los impactos ambientales, la socioeconomía, etc.</li> <li>• Reducir la escala y validar los modelos: Utilizar la mejor información disponible para estimar las cargas de N y P entregadas a los sistemas acuáticos desde cada fuente/sector principal en todas las cuencas principales. Véase la caja de herramientas GNC del FMAM.</li> </ul>	2021-2025 2021-2025 2021-2025 2021-2025
Examinar y clasificar las aguas costeras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar el estado de eutrofización de las zonas costeras.</li> <li>• Identificar los puntos calientes de nutrientes costeros y las principales fuentes asociadas de exceso de nutrientes.</li> <li>• Clasificar las aguas receptoras de acuerdo con las obligaciones del Protocolo FTCM (Clase 1 y Clase 2 del sistema de clasificación equivalente).</li> </ul>	2021-2025 2021-2025 2021-2025
Seguimiento, recopilación de datos, evaluación y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basándose en el cribado y la clasificación anteriores, desarrollar o reforzar los programas de seguimiento existentes para las diferentes clases y el estado de eutrofización de las zonas identificadas. El</li> </ul>	2025-2030

presentación de informes	<p>monitoreo debe incluir las fuentes y magnitudes de N, P y Si, la estimación del ICEP, los impactos ambientales, los datos socioeconómicos, etc., utilizando indicadores que estén armonizados con los indicadores regionales y globales. El monitoreo debe incluir la ciencia ciudadana y los enfoques tradicionales y modernos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar un sistema nacional de gestión de datos vinculado a un sistema regional de gestión de datos.</li> <li>• Desarrollar o fortalecer el mecanismo para la evaluación periódica y la presentación de informes e informar la gestión adaptativa, las respuestas políticas y la toma de decisiones. Esto debería incluir la preparación de productos de conocimiento como tarjetas de informe.</li> </ul>	<p>2025-2030</p> <p>2025-2030</p>
Creación de capacidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar las deficiencias de capacidad a nivel local y nacional y en todas las disciplinas pertinentes.</li> <li>• Desarrollar y aplicar programas de desarrollo de capacidades para abordar las carencias identificadas, incluida la asistencia técnica a los agricultores y a los agentes de extensión agraria y a los que participan en los sectores de la salud, el agua y las aguas residuales, y la estimación del ICEP.</li> <li>• Identificar oportunidades de aprendizaje e intercambio de experiencias con otros países.</li> <li>• Promover el uso de los recursos disponibles (FMAM-GNC Global Nutrient Management Toolbox, informes técnicos del PNUMA-PAC sobre las mejores prácticas de gestión de las aguas residuales y de la erosión, estrategias y planes de acción de los Estados Unidos para la reducción de los nutrientes - Estados del Golfo de México).</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2021-2025</p> <p>2021-2030</p> <p>2021-2030</p>
Programas de incentivos	<p>Desarrollar programas de incentivos para los agricultores y otros sectores (para promover la gestión de los nutrientes, el tratamiento de las aguas residuales y la reutilización de las aguas residuales tratadas). Esto debería incluir la evaluación de los instrumentos de política económica para los incentivos financieros y la identificación de oportunidades para la recuperación y reutilización de nutrientes, el aumento de la producción y la generación de ingresos para los agricultores (por ejemplo, de los cultivos de cobertura), el pago a los agricultores y propietarios de tierras para los servicios de los ecosistemas.</p>	<p>2025-2030</p>
Recursos financieros	<p>Desarrollar un plan de financiación sostenible e identificar fuentes y oportunidades de financiación (financiación del sector público, inversión del sector privado, bancos de desarrollo, donantes y mecanismos internacionales, incluido el Programa de Pequeñas Subvenciones del FMAM, fondos fiduciarios, PSA, medidas fiscales como impuestos, mecanismos de financiación basados en el mercado, etc.) para la aplicación del programa de gestión de nutrientes (véase más adelante).</p>	<p>2025-2030</p>
Investigación científica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las prioridades de investigación relevantes para las políticas y facilitar la realización de investigaciones, incluso mediante asociaciones con instituciones académicas y la creación de oportunidades para los científicos. Véase la Agenda de Investigación sobre la Contaminación del CLME+.</li> <li>• Reforzar la interfaz ciencia-política para facilitar la asimilación de la ciencia en el establecimiento de políticas.</li> </ul>	<p>2021-2025</p> <p>2021-2030</p>
Objetivos de reducción de nutrientes y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer objetivos cuantitativos de reducción de nutrientes por fuente en cada cuenca prioritaria de acuerdo con los usos designados del cuerpo de agua y para proteger/mejorar los servicios del ecosistema.</li> </ul>	<p>2025-2030</p>

<p>asignación de cargas contaminantes permitidas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar la eficiencia actual del uso del nitrógeno (NUE) y determinar la reducción necesaria para alcanzar los objetivos de NUE.</li> <li>• Identificar y evaluar las prácticas de gestión (véase el Compendio BPM y la base de datos GNC) para lograr los objetivos de reducción y las cargas.</li> <li>• Asignar las cargas contaminantes permitidas a las distintas fuentes.</li> </ul>	<p>2021-2025 2021-2025 2025-2030</p>
<p>Estrategia nacional de reducción de la contaminación por nutrientes y planes de acción nacionales y de cuencas hidrográficas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En consulta con todas las partes interesadas clave y sobre la base del RNPRSAP, desarrollar una estrategia nacional de reducción de la contaminación por nutrientes y uno o varios planes de acción para que las cuencas hidrográficas prioritarias alcancen los objetivos de reducción, así como otros objetivos identificados, una combinación adecuada de BMP*, un análisis de costes y beneficios de las BMP basado en el contexto local, un mecanismo financiero e incentivos, un plan de seguimiento y evaluación, una estrategia para la difusión de las lecciones, la reproducción y la ampliación, etc. La estrategia y el plan de acción nacionales deberían estar alineados con las Agendas de Desarrollo Sostenible 2030 nacionales e incorporar la consideración de los impactos del cambio climático en la movilización de sedimentos y nutrientes, y la producción de cultivos.</li> <li>• La aplicación del programa podría ser gradual, comenzando por la(s) cuenca(s) y los puntos críticos de mayor prioridad. En la medida de lo posible, la aplicación debería coordinarse con la de la Estrategia Regional de Hábitats para multiplicar los beneficios.</li> </ul> <p>Será necesaria una combinación adecuada de expertos de diversas disciplinas (incluidos economistas, agrónomos, especialistas en medio ambiente, etc.) para desarrollar y aplicar el programa.</p> <p>*Deberán identificarse prácticas de gestión innovadoras y basadas en el mercado. Para reducir las cargas de nutrientes se puede utilizar una serie de prácticas que van más allá de las prácticas tradicionales de gestión de fuentes puntuales y no puntuales. Entre ellas se encuentran los programas para comprometer a las industrias, las empresas y las compañías agrícolas en la prevención voluntaria de la contaminación; las regulaciones para la emisión de gases de nitrógeno; los programas de comercio de nutrientes basados en cuencas o en cuencas hidrográficas; y las prácticas de gestión del agua y de los insumos.</p>	<p>2021-2030  2021-2030  2021-2030</p>
<p>Aplicar el/los plan/es de acción de la cuenca hidrográfica</p>	<p>Poner en marcha el/los plan/es de acción para la(s) cuenca(s) prioritaria(s)</p>	<p>2025 -2030</p>
<p>Instalaciones portuarias de recepción</p>	<p>Establecer/mejorar las instalaciones portuarias de recepción y tratamiento de las aguas residuales de los barcos.</p>	<p>2025 -2030</p>
<p>Seguimiento y gestión adaptativa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A intervalos regulares, supervisar y evaluar el progreso hacia la consecución de los objetivos utilizando los indicadores establecidos (proceso, reducción del estrés, indicadores de estado socioeconómico y medioambiental) y los impactos de las soluciones aplicadas. Esto incluirá la presentación de informes cada dos años por parte de los Estados miembros a la Conferencia de las Partes del Protocolo FTGM</li> </ul>	<p>2030 y más allá</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptar las acciones de gestión basándose en los resultados e incorporando cualquier nuevo dato e información científica, así como los problemas emergentes.</li> <li>• Documentar y comunicar los resultados y las lecciones.</li> </ul>	
--	--	--

## 5.8 RECOMENDACIONES/ PRÓXIMOS PASOS PARA EL DESPLIEGUE DEL RNPRSAP

Las recomendaciones para abordar la contaminación por nutrientes se ofrecen a lo largo de los capítulos anteriores, especialmente en el capítulo 5. Las siguientes recomendaciones/próximos pasos abordan los preparativos para la puesta en marcha del RNPRSAP, e incluyen:

1. Preparación de un plan por parte de PNUMA-PAC para el despliegue (gradual) de la estrategia, en colaboración con los Estados miembros, los FTCM/CAR y los organismos subregionales (CARICOM, SICA/CCAD, OECS y OTCA). Esto debería incluir la asignación del Grupo de Trabajo de Monitoreo y Evaluación del FTCM (o un nuevo o subgrupo sobre nutrientes - ver más abajo) para abordar algunas tareas clave para facilitar la implementación de la Estrategia;
2. Establecimiento de un grupo consultivo regional y multidisciplinar (que incluya a los expertos técnicos pertinentes) centrado en la contaminación por nutrientes, posiblemente bajo el Grupo de Trabajo sobre FTCM (los términos de referencia y la composición/experiencia técnica serán identificados por el PNUMA-PAC y el Grupo de Trabajo sobre FTCM y aprobados por el STAC/COP);
3. Facilitar el intercambio de experiencias entre las Partes del Convenio, por ejemplo, Estados Unidos sobre los planes de acción en materia de contaminación por nutrientes para el Golfo de México, y Colombia/INVEMAR sobre la vigilancia de las costas, así como con otros Programas de Mares Regionales, incluido el trabajo realizado en el marco de la Directiva Marco del Agua europea para establecer objetivos ecológicos;
4. Plena integración del RNPRSAP en la Estrategia de PNUMA -PAC e identificación de sinergias con otras estrategias y marcos relevantes, incluyendo la Estrategia Regional de Hábitats y el Marco Regional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de PNUMA-PAC, así como las modalidades para su aplicación utilizando un enfoque más programático y menos centrado en los proyectos.
5. Priorización de las necesidades y acciones a nivel nacional, subregional y regional para acelerar la implementación de la estrategia y finalización del cronograma de acciones (adaptar el cronograma de 2030 según sea necesario), incluyendo el tratamiento de las brechas de datos y capacidades y la adaptación de las metas e indicadores de acuerdo con el contexto existente en los países;
6. Reforzar los esfuerzos para hacer operativa la GPNM-Caribe;
7. Identificación de lugares (puntos calientes de contaminación por nutrientes) y oportunidades para desarrollar y ejecutar proyectos piloto sobre la aplicación de la estrategia, por ejemplo, a través de proyectos en curso y previstos como IWECO, CREW+ y la iniciativa ACP-AMUMA (y potencialmente Procaribe, la continuación del proyecto CLME+). Esto debería considerar los planes de inversión para la reducción de la contaminación y la restauración del hábitat desarrollados por la Secretaría con el apoyo del proyecto CLME+.

8. Incorporación del RNPRSAP en los marcos nacionales de planificación y desarrollo de los países y preparación por parte de los países de Planes de Acción Nacionales para la Reducción de la Contaminación por Nutrientes, basados en el RNPRSAP y en consonancia con sus Agendas Nacionales de Desarrollo Sostenible 2030;
9. Estimación del coste de la aplicación de los elementos de la estrategia e identificación de las oportunidades de financiación para la aplicación, incluso a través del sector privado, en particular los sectores turístico y agrícola, y los bancos de desarrollo;
10. Identificación de oportunidades a través del Decenio de las Ciencias Oceánicas y del Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de los Ecosistemas para establecer/fortalecer las condiciones propicias (fortalecer la capacidad, llenar las lagunas de datos/conocimiento, etc.);
11. Considerar el desarrollo de una estrategia de comunicación para el RNPRSAP y utilizar las plataformas existentes para la comunicación;
12. Promoción del RNPRSAP a través de la defensa y la participación de las partes interesadas (incluyendo el sector privado, la sociedad civil y los socios subregionales y regionales) para obtener la aceptación y facilitar la colaboración, así como la adopción y la aplicación efectiva de la estrategia.

## 6 Anexos

### 6.1 ANEXO 3.1 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE

Fuente de datos: HydroBasins

<https://www.hydrosheds.org/page/hydroatlas>

Linke, S. et al. 2019. Características globales hidroambientales de subcuencas y tramos fluviales a alta resolución espacial. Datos científicos 6: 283. Doi: [10.1038/s41597-019-0300-6](https://doi.org/10.1038/s41597-019-0300-6), <https://www.nature.com/articles/s41597-019-0300-6>

Este anexo fue preparado en colaboración con el Sr. Hamish Asmath de la Unidad de Geomática del Instituto de Asuntos Marinos de Trinidad y Tobago.

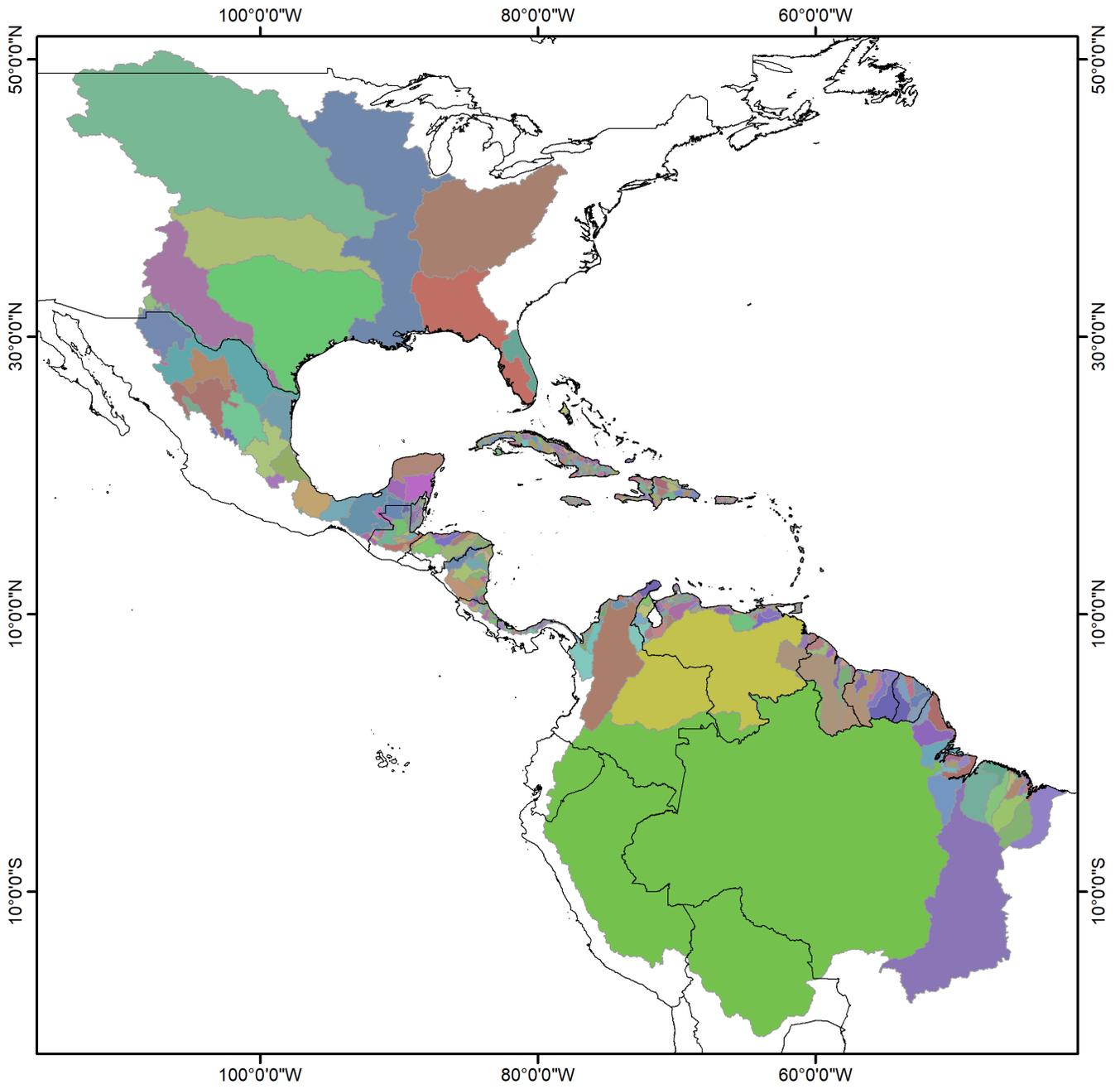
El objetivo es proporcionar una cartografía preliminar de las cuencas hidrográficas que drenan en la Región del Gran Caribe, incluidas las que drenan en el Gran Ecosistema Marino de la Plataforma del Norte de Brasil. En última instancia, los mapas de las cuencas hidrográficas deberían vincularse con los datos de las cuencas modeladas, incluidas las cargas de nutrientes, que son fundamentales para actualizar las estrategias de reducción de la contaminación por nutrientes a múltiples escalas de aplicación. Y lo que es más importante, la cartografía pretende facilitar los estudios empíricos y de modelización a escala de cuenca que puedan ayudar a reducir la contaminación por nutrientes en su origen.

Los siguientes mapas con la nomenclatura preliminar de las cuencas fluviales se anotan en la tabla siguiente, incluyendo el nivel de resolución de la cuenca a la que se resolvieron los datos del conjunto de datos globales de HydroBasins.

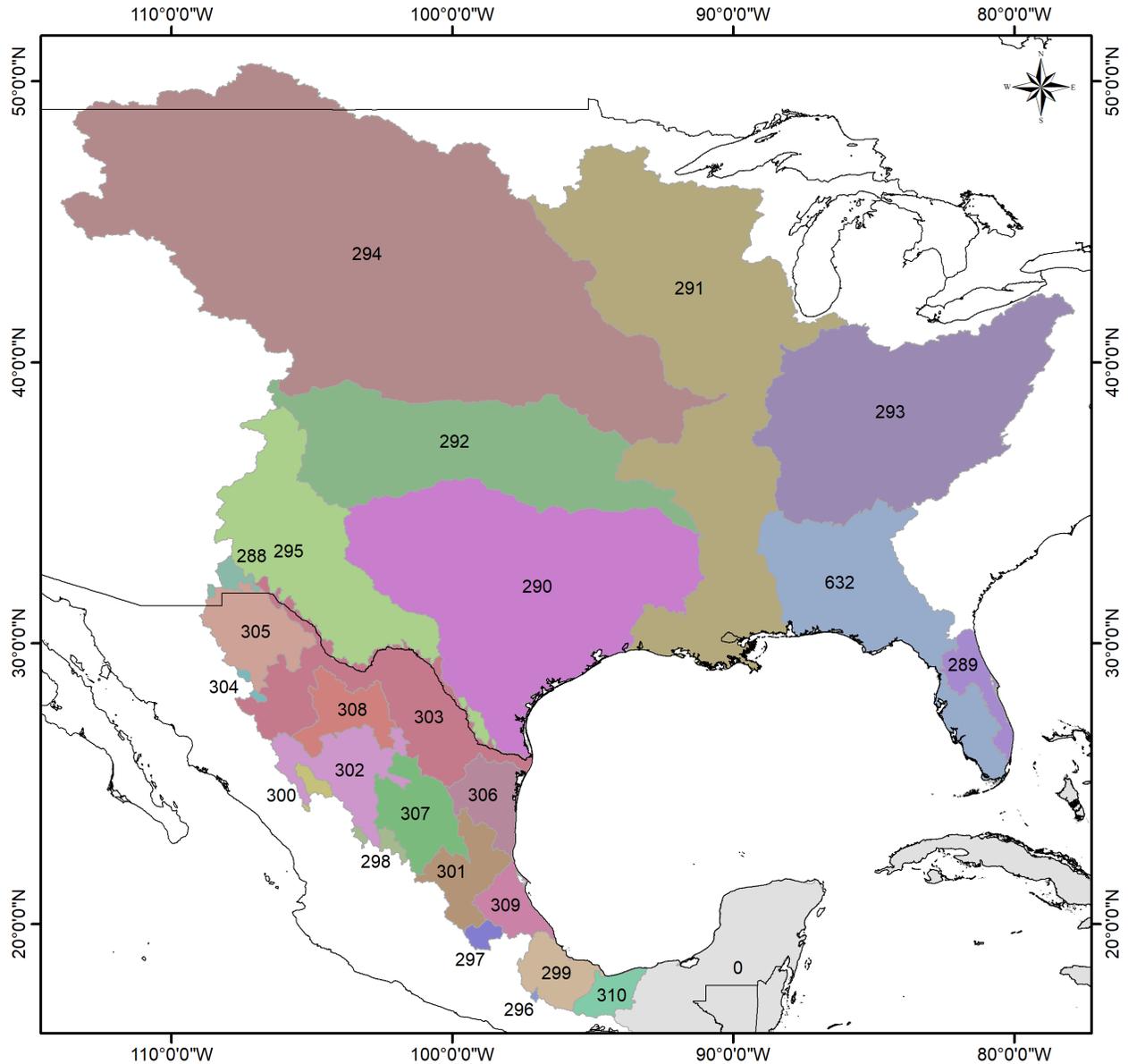
Nombre del mapa	Resolución	RGC Sub-región
Cuencas hidrográficas del RGC		Sub-región I-V, Plataforma Norte de Brasil LME
<b>CUENCAS HIDROGRÁFICAS CONTINENTALES</b>	<b>Niveles 3-6</b>	
NA (América del Norte) Cuencas hidrográficas		Sub-región I
CA 1 (América Central) Cuencas hidrográficas		Sub-región II
Cuencas hidrográficas de CA 2		Sub-región II
CA 3 Cuencas hidrográficas		Sub-región II
CA 4 Cuencas hidrográficas		Sub-región II
SA (América del Sur) Cuencas hidrográficas todas		Sub-región III
SA Cuencas hidrográficas de Guyana a Brasil		Sub-región III
SA Cuencas Hidrográficas Norte Colombia		Sub-región III
SA Cuencas Hidrográficas Norte Venezuela		Sub-región III
<b>CUENCAS INSULARES</b>		
Bahamas	Level 9	Sub-región V

Cuba	Level 8	Sub-región V
La Española	Level	Sub-región V
Jamaica	Level 8	Sub-región V
Puerto Rico y USVI	Level 9	Sub-región IV
Trinidad y Tobago	Level 12	Sub-región IV
Caribe Oriental 1	Level 12	Sub-región IV
Caribe Oriental 2	Level 12	Sub-región IV
Caribe Oriental 3	Level 12	Sub-región IV
Caribe meridional	Level 12	Sub-región IV

CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL RGC



# CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE AMÉRICA DEL NORTE: México, Estados Unidos de América

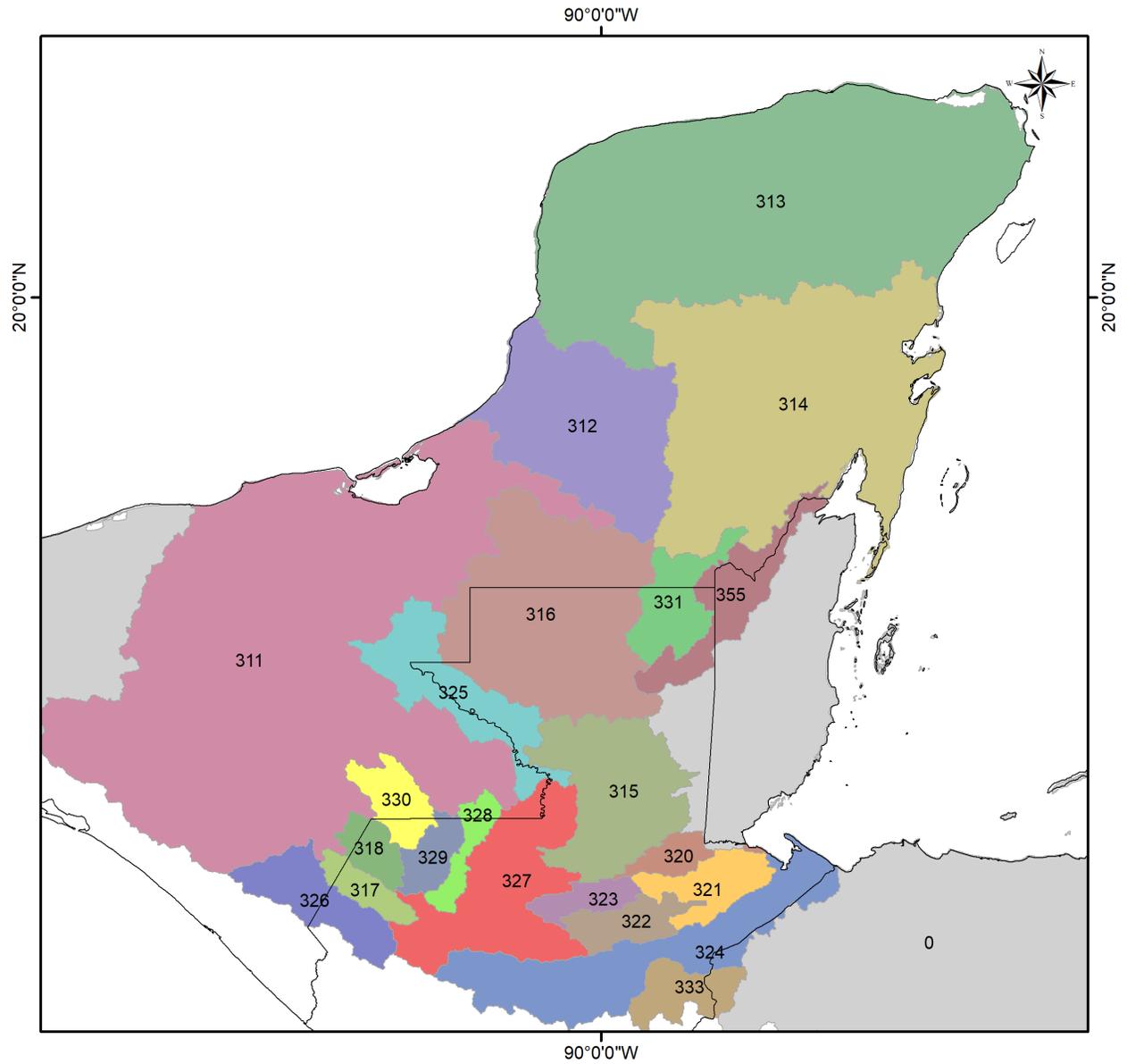


## Legend

### Watershed

288 Pacific Seaboard	296 Costa Chica de Guerrero	305 Cuencas Cerradas del Norte
289 Atlantic Ocean Seaboard	297 Balsas River	306 San Fernando Soto la Marina
290 Texas Gulf of Mexico Seaboard	298 Rivers between Lerma and Santiago	307 El Salado Rivers
291 Mississippi River System	299 Papaloapan River	308 Mapimi
292 Arkansas/ Red River	300 Rivers between Presidio and San Pedro	309 Norte de Veracruz
293 Ohio River	301 Panuco River	310 Coatzacoalcos River
294 Missouri River	302 Rivers between Nazas and Aguanaval	508 Yarchy
295 Rio Grande	303 Rivers between Bravo and Conchos	632 Gulf of Mexico Seaboard
	304 Sonora Sur	Other WCR watersheds

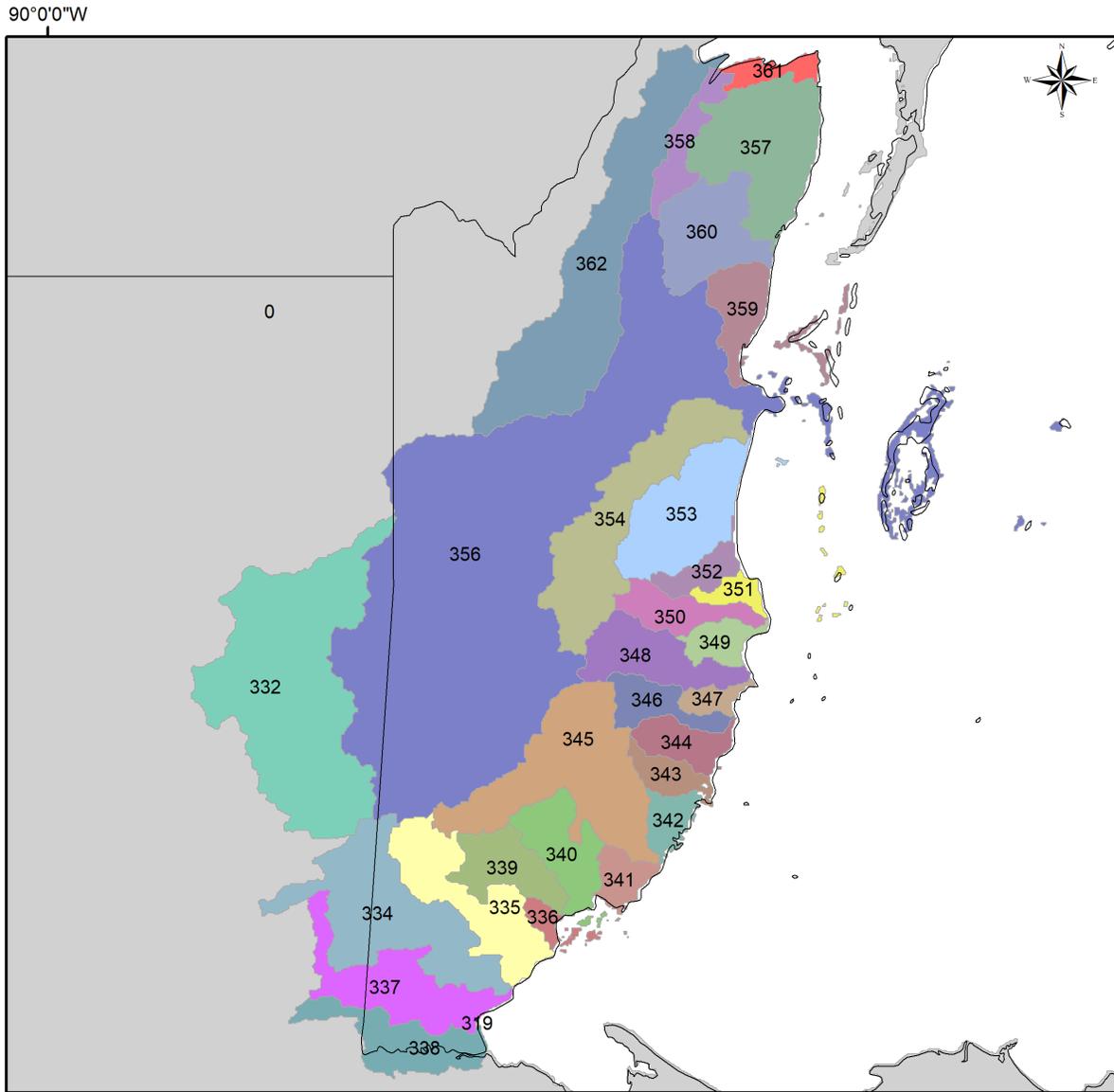
AMÉRICA CENTRAL 1: Península de Yucatán (MEX), Guatemala



**Legend**

311 Rivers between Grijalva and Usumacinta	320 Sarstun River	328 Xacbal River
312 Yucatan Oeste	321 Dulce River	329 Ican River
313 Yucatan Norte	322 Polochic River	330 Pojom River
314 Yucatan Este	323 Cahabon River	331 Hondo River
315 La Pasion River	324 Motagua River	333 Grande de Zacapa River
316 San Pedro River	325 Usumacinta River	355 Rio Hondo
317 Selegua River	326 Culco River	Other WCR Watersheds
318 Nenton River	327 Salinas River	

# AMÉRICA CENTRAL 2: Belice

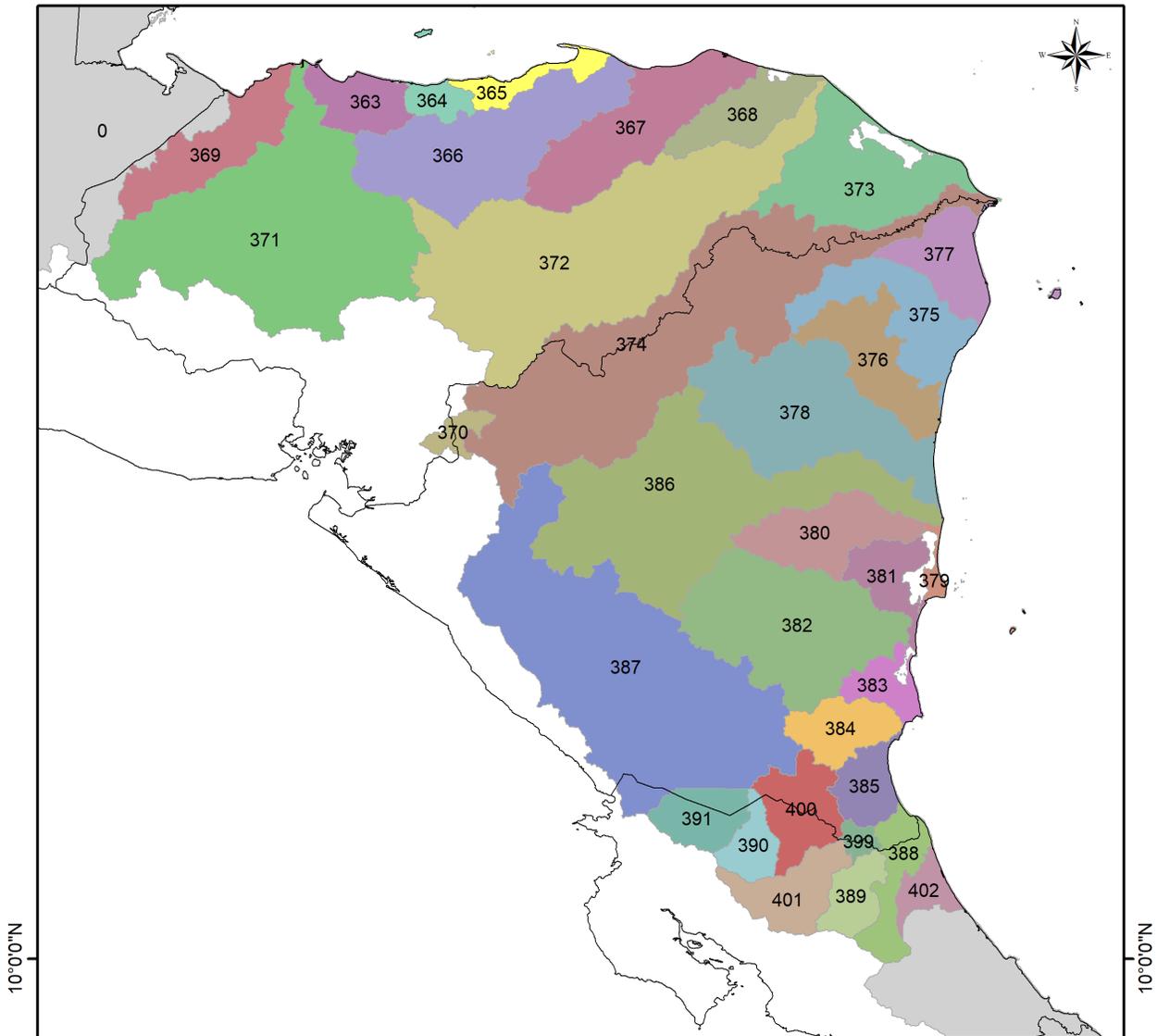


90°0'0"W

## Legend

319 Temash River	343 Mango Creek	354 Sibun River
332 Mopan Belice River	344 Santa Maria Creek	356 Belize River
334 Moho River	345 Monkey River	357 Shipstem Lagoon
335 Rio Grande	346 South Stann Creek	358 Progresso Lagoon
336 Middle River	347 Cabbage Haul Creek	359 Santa Maria / Potts Creek
337 Temash River	348 Sittee River	360 Northern River
338 Sarstoon River	349 Freshwater Creek	361 Baracouda Pond
339 Golden Stream	350 North Stann Creek	362 New River
340 Deep River	351 Black Creek	Other WCR Watersheds
341 Punta Ycacos Lagoon	352 Mullins River	
342 Sennis River	353 Northern and Southern Lagoon	

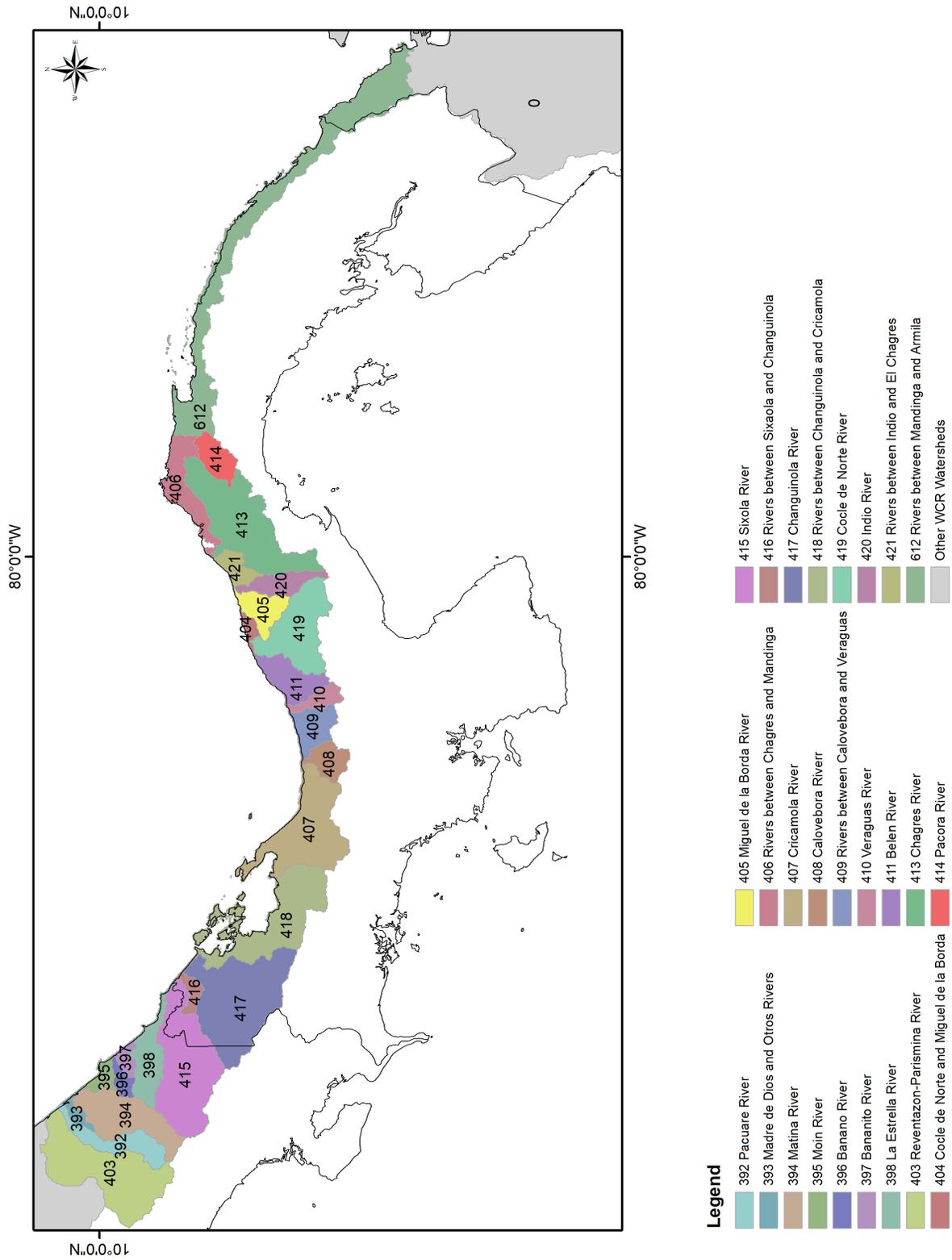
AMÉRICA CENTRAL 3: Honduras, Nicaragua, Costa Rica



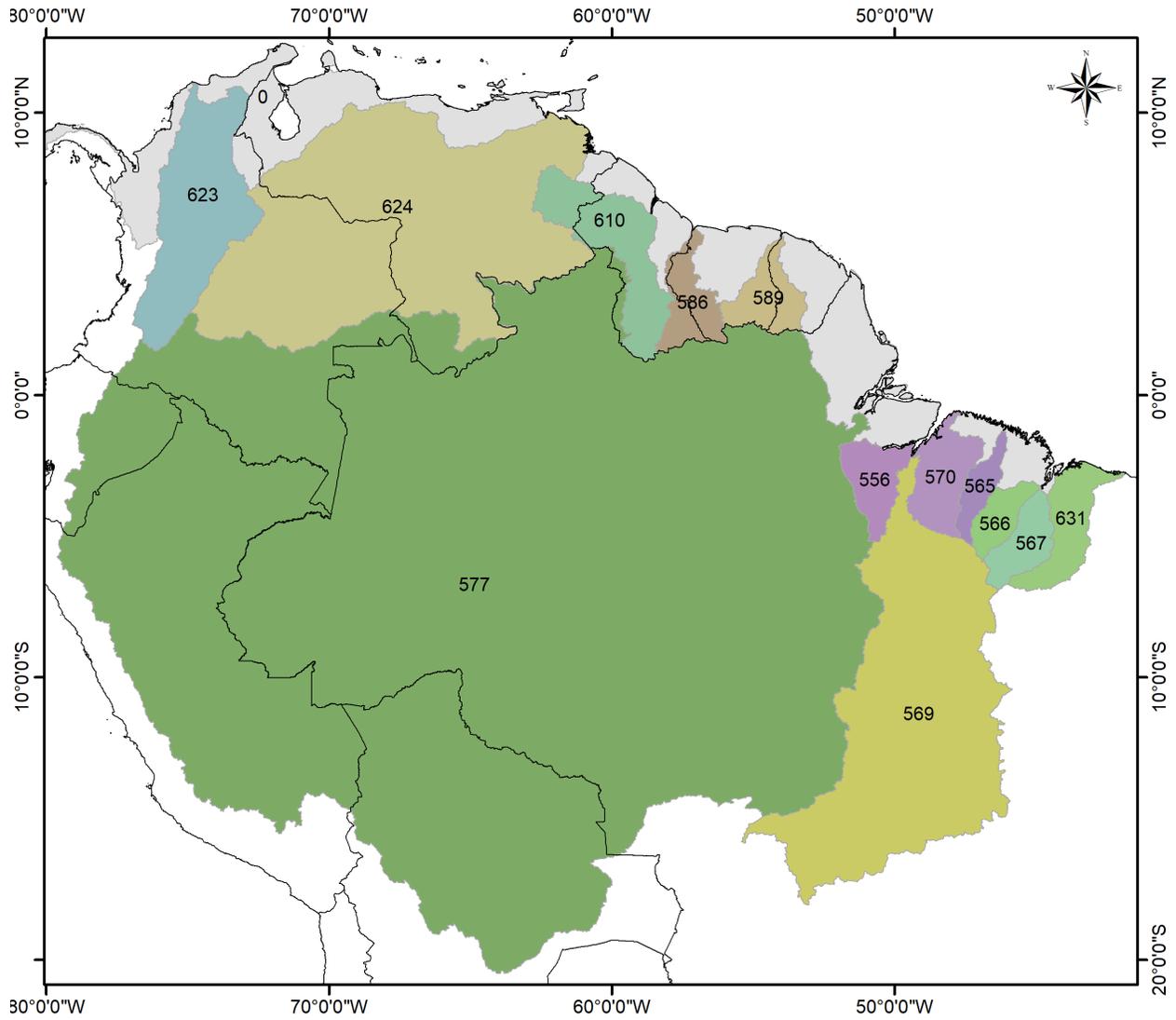
**Legend**

363 Lean River	375 Wawa River	387 Great Lakes / San Juan River
364 Cangregal River	376 Kukalaya River	388 Chirripo River
365 Lislis River	377 Ulang River	389 Sarapiquí River
366 Aguan River	378 Prinzapolka River	390 Frio River
367 Sico Tinto River	379	391 Zapote and Otros River
368 Platano River	380 Kurinwas River	399 Curena River
369 Chamelecon River	381 Rivers between Escondido and Kurinwas	400 Poco Sol and Otros Rivers
370 Negro River	382 Escondido River	401 San Carlos River
371 Ulua River	383 Rivers between Punta Gorda and Escondido	402 Tortuguero and Otros Rivers
372 Patuca River	384 Punta Gorda River	Other WCR Watersheds
373 Warunta River	385 Rivers between Punta Gorda and San Juan	
374 Coco River	386 Matagalpa River	

# AMÉRICA CENTRAL 4: Panamá



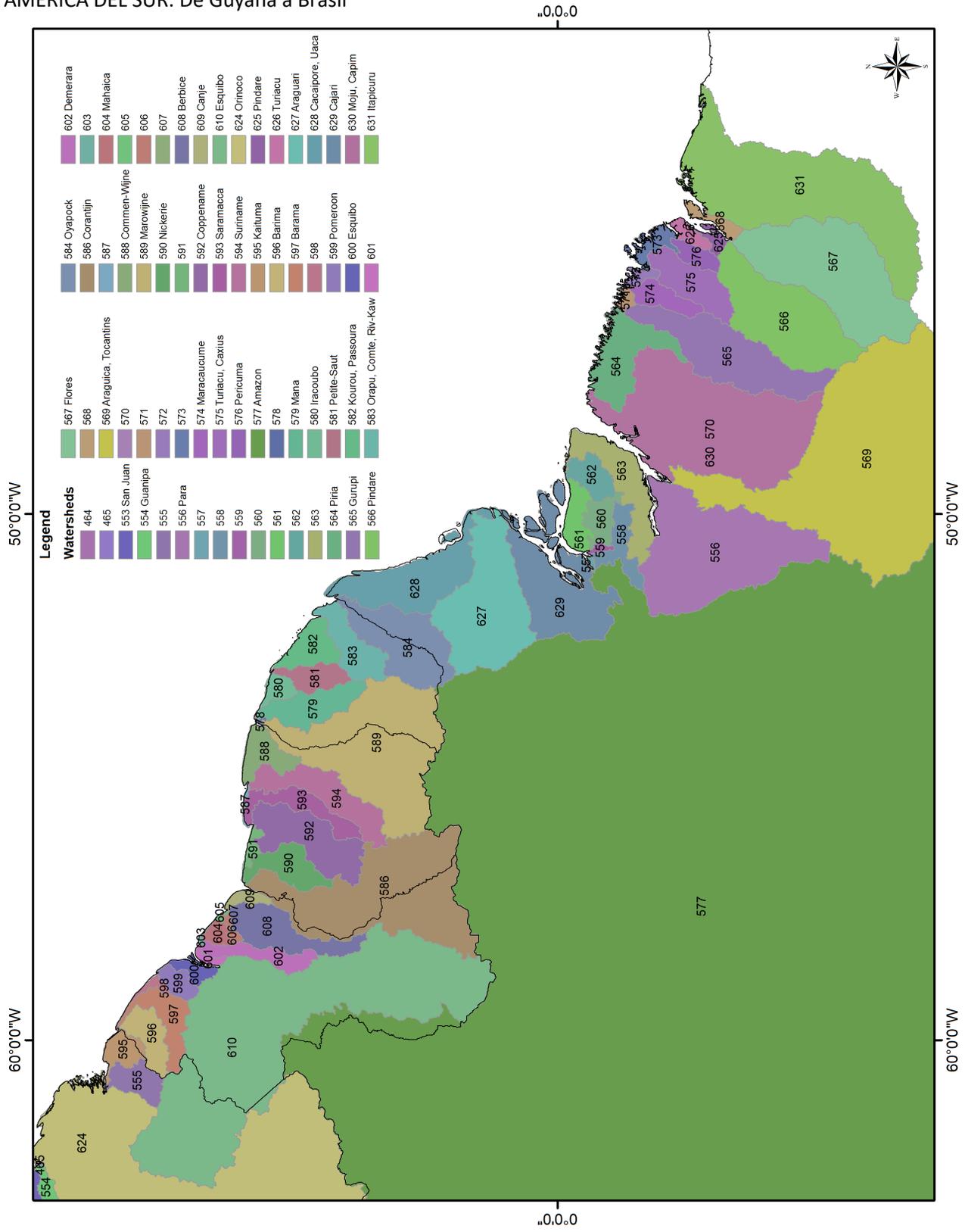
AMÉRICA DEL SUR: TODAS LAS CUENCAS DEL RGC



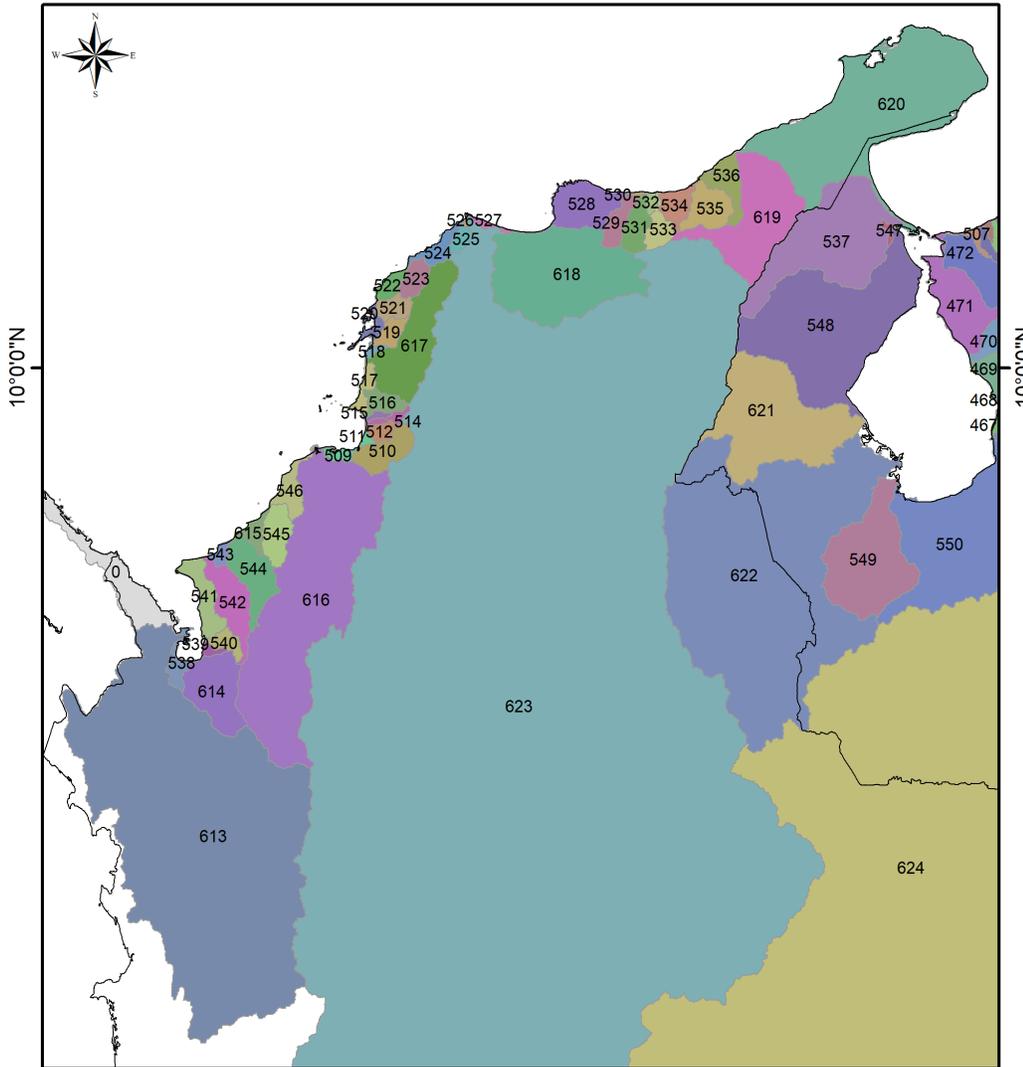
**Legend**

<b>Watersheds</b>			
	569 Araguica, Tocantins		610 Esquibo
	556 Para		570
	565 Gurupi		577 Amazon
	566 Pindare		586 Corantijn
	567 Flores		589 Marowijne
			623 Magdalena
			624 Orinoco
			631 Itapicuru
			Other WCR watersheds

AMÉRICA DEL SUR: De Guyana a Brasil



AMÉRICA DEL SUR: Norte de Colombia

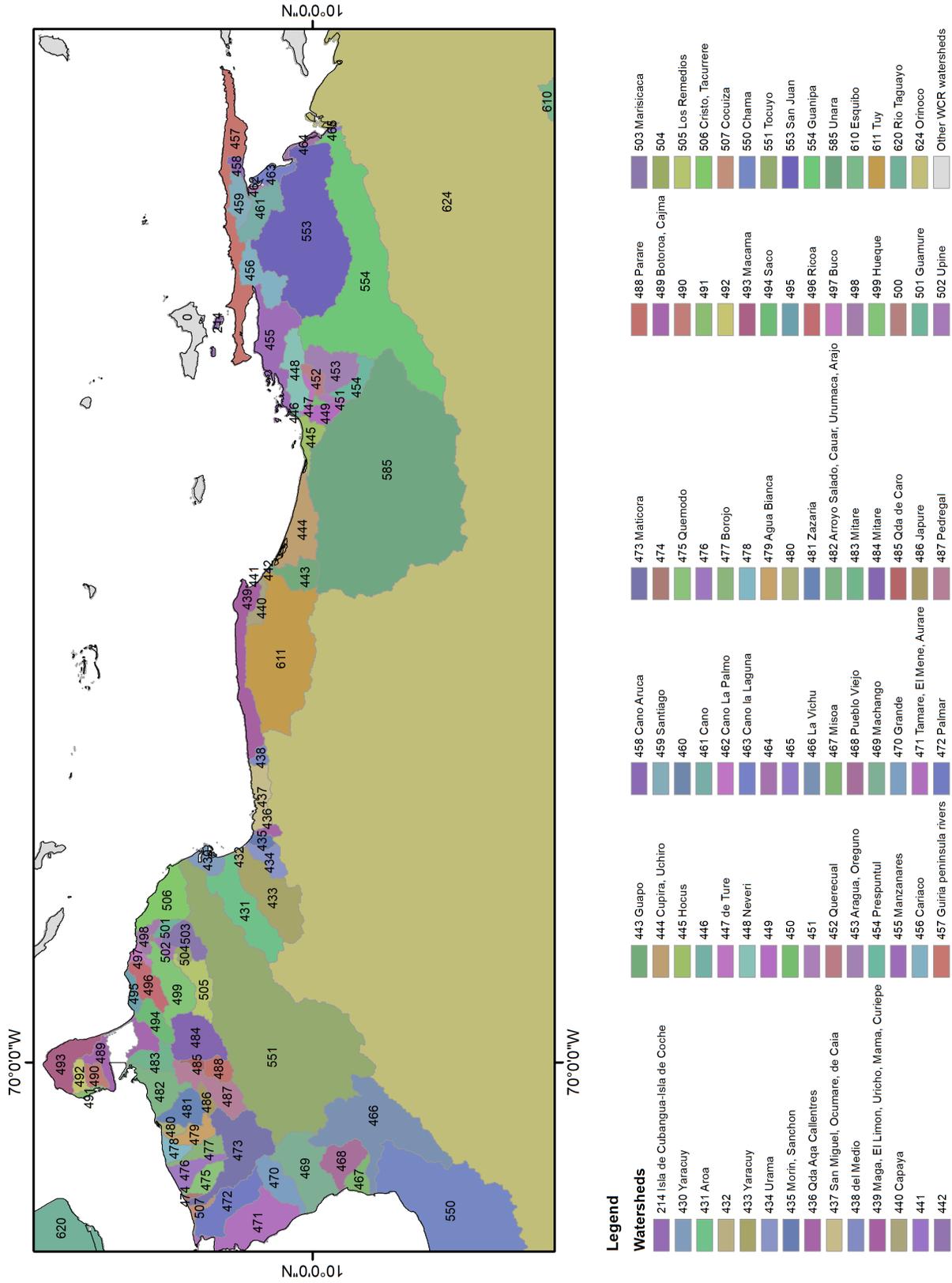


Legend

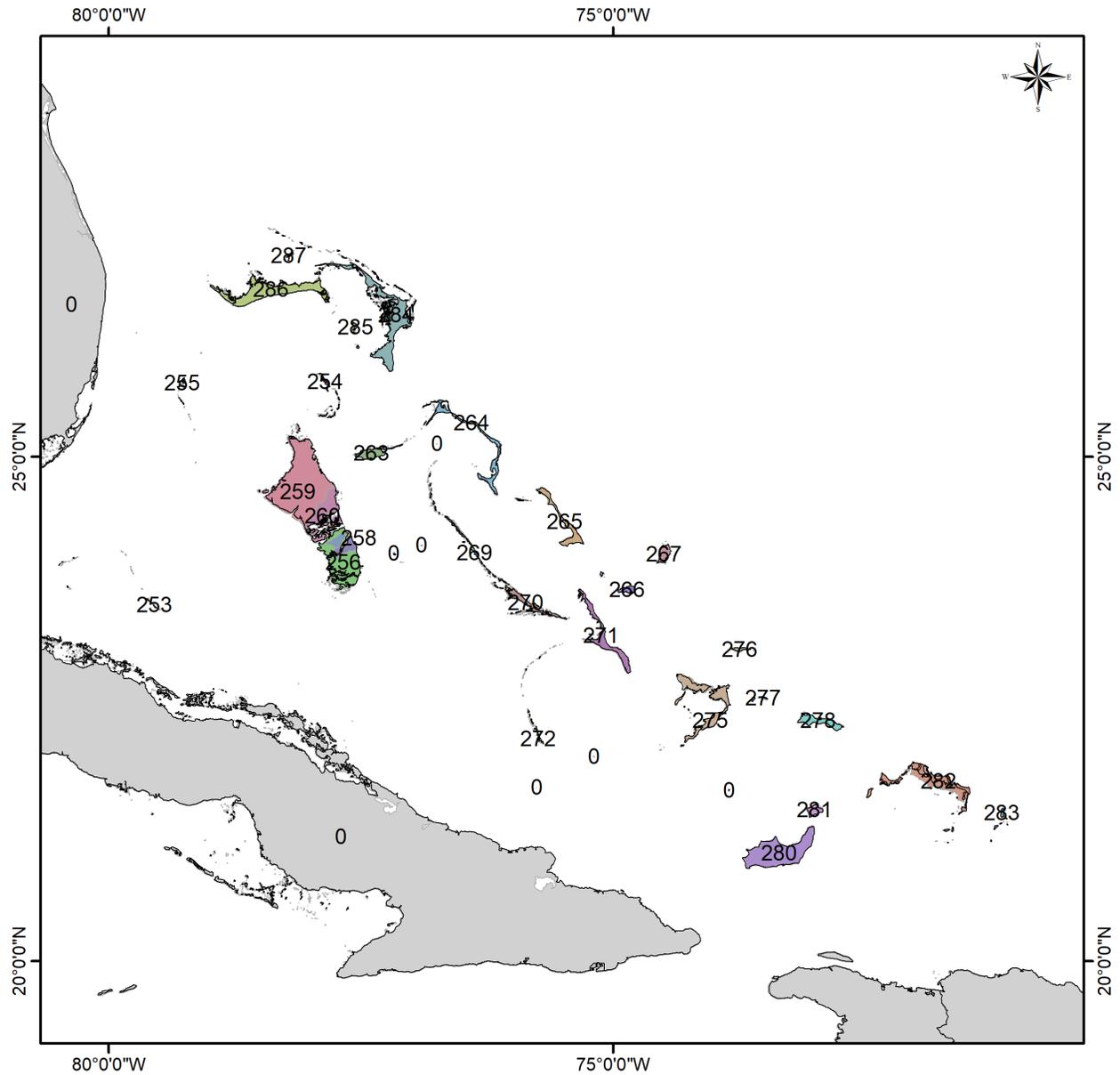
**Watersheds**

466 La Vichu	513	530	547
467 Misoa	514	531 Don Diego	548 Palmar
468 Pueblo Viejo	515	532	549 Escalante
469 Machango	516 Ay Cascajo	533 Ancho	550 Chama
470 Grande	517	534 Dibulla (Jerez)	613 Rio Atrato
471 Tamare, El Mene, Aurare	518	535 Tapias	614 Leon
472 Palmar	519	536 Barbaocoas	615
473 Maticora	520 Canal del Dique, Cga de Tesca o la Virgen	537 Los Cajones	616 Rio Sinu
474	521	538 Bzo Leon	617 Canal del Dique
475 Quemodo	522	539 Cn Viejo	618 Rio Fundacion
476	523 Ay Grande	540 Gudualito	619 Rio Rancheria
507 Cocuiza	524 Ay Piojo, Caja, Cana	541 Caiman Nuevo, Cga Marimonda, Cga de Salado	620 Rio Taguayo
509 Hondo	525 Ay Sierra Palma	542 Mulatos	621 Rio de Oro
510 Ay Petaca	526	543 Iguana	622 Rio Cataturmbo, Guaramilo
511 Ay Pechilin	527	544 San Juan	623 Magdalena
512 Ay Grande	528 Toribio, Guachaca	545 Canalete	624 Orinoco
	529	546 Mangle	Other WCR watersheds

AMÉRICA DEL SUR: Norte de Venezuela



# Cuencas hidrográficas insulares: Bahamas



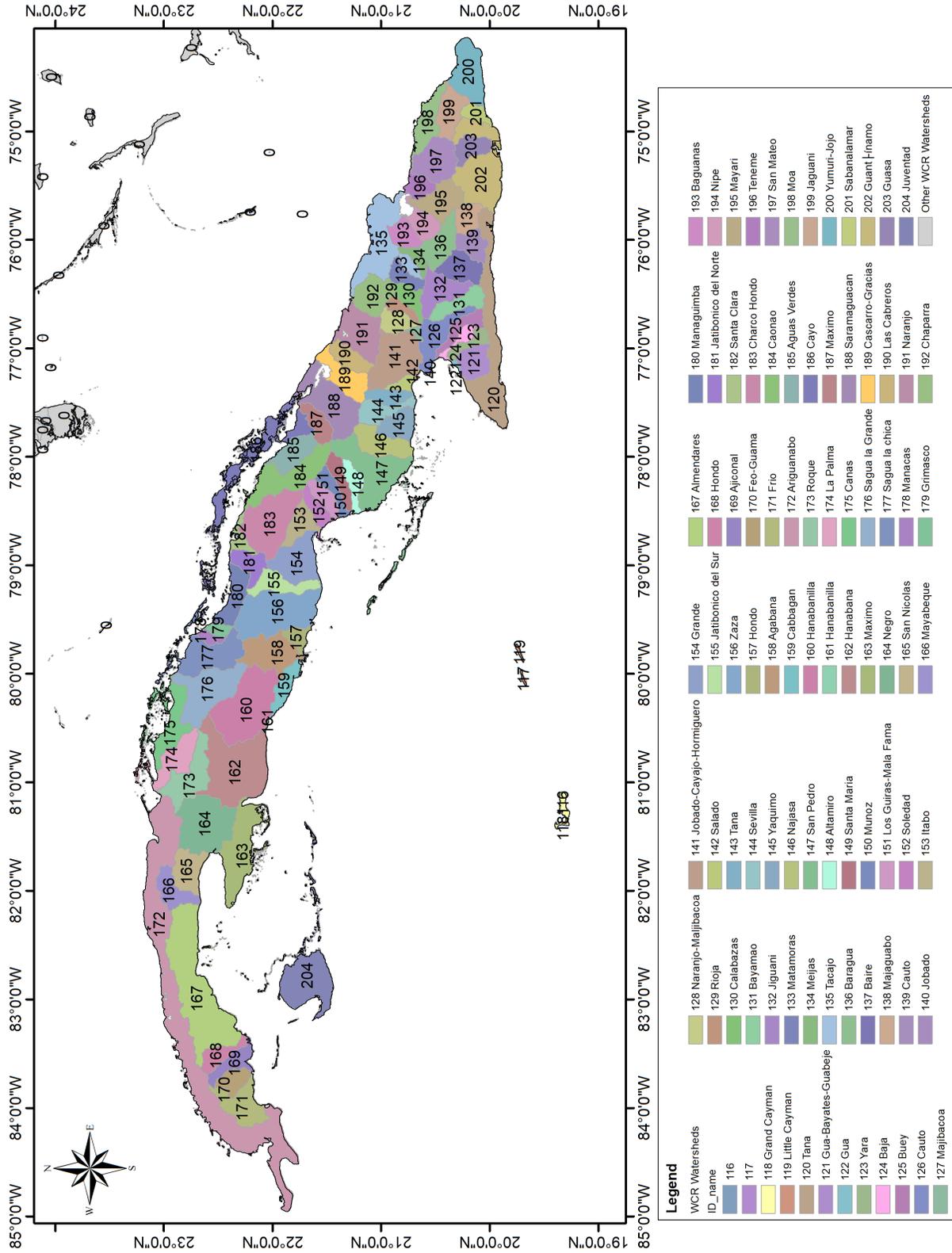
## Legend

### WCR Watersheds

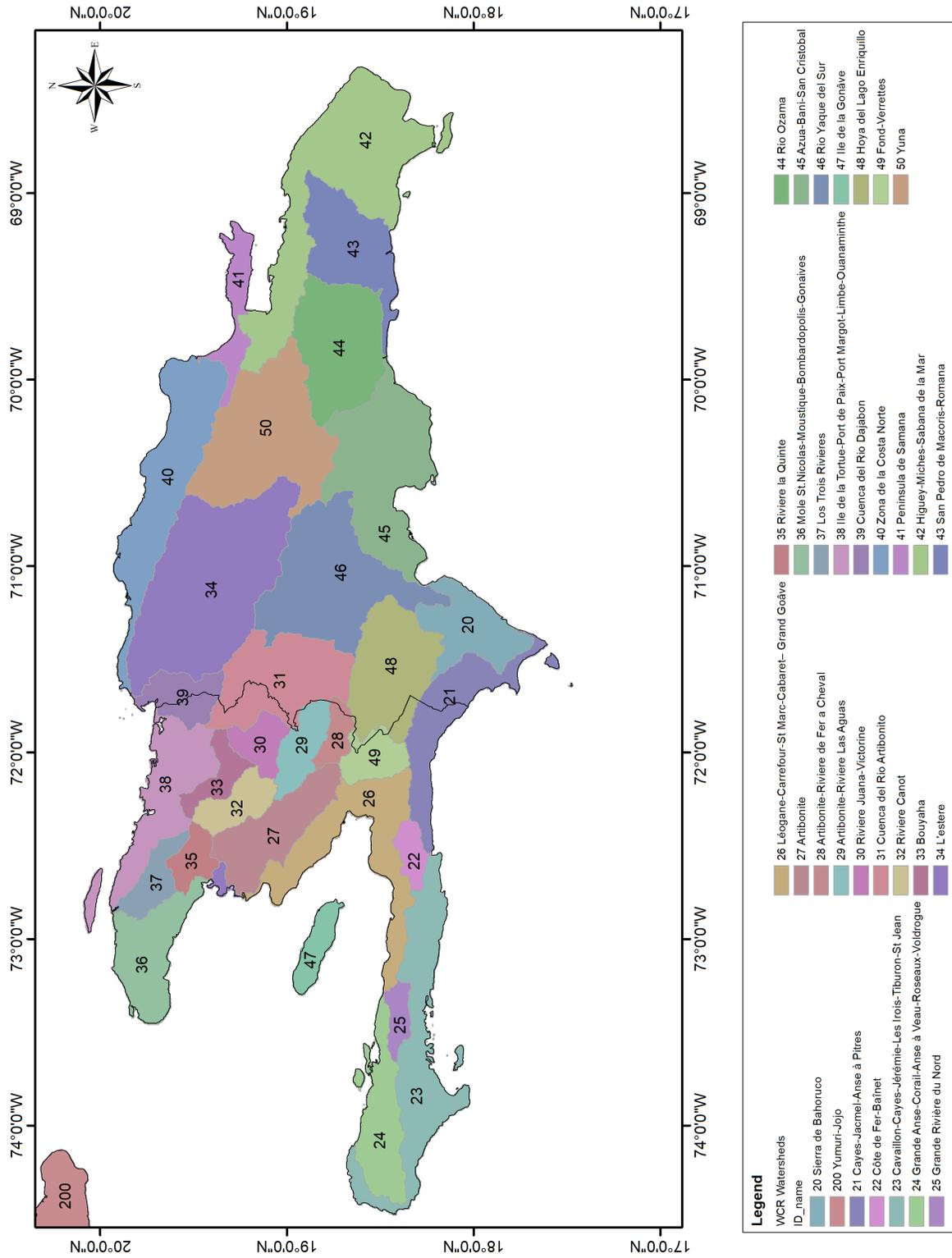
### ID\_name

	258 Big Wood Cay		269 Exuma Cays		280 Inagua
	259 North Andros		270 Exuma		281 Little Inagua
	260 Central Andros		271 Long Island		282 Caicos Islands
	253 Cay Sal		272 Ragged Islands		283 Turks Islands
	254 Berry Islands		273 Crooked Island- Acklins		284 Abaco Island
	255 Bimini		274 Samana Cays		285 Hard Bargain
	256 South Andros		275 Plana Cays		286 Grand Bahama
	257 Mangrove Cay		276 San Salvador		287 Abaco Island
			277 Mayaguana		Other WCR Watersheds

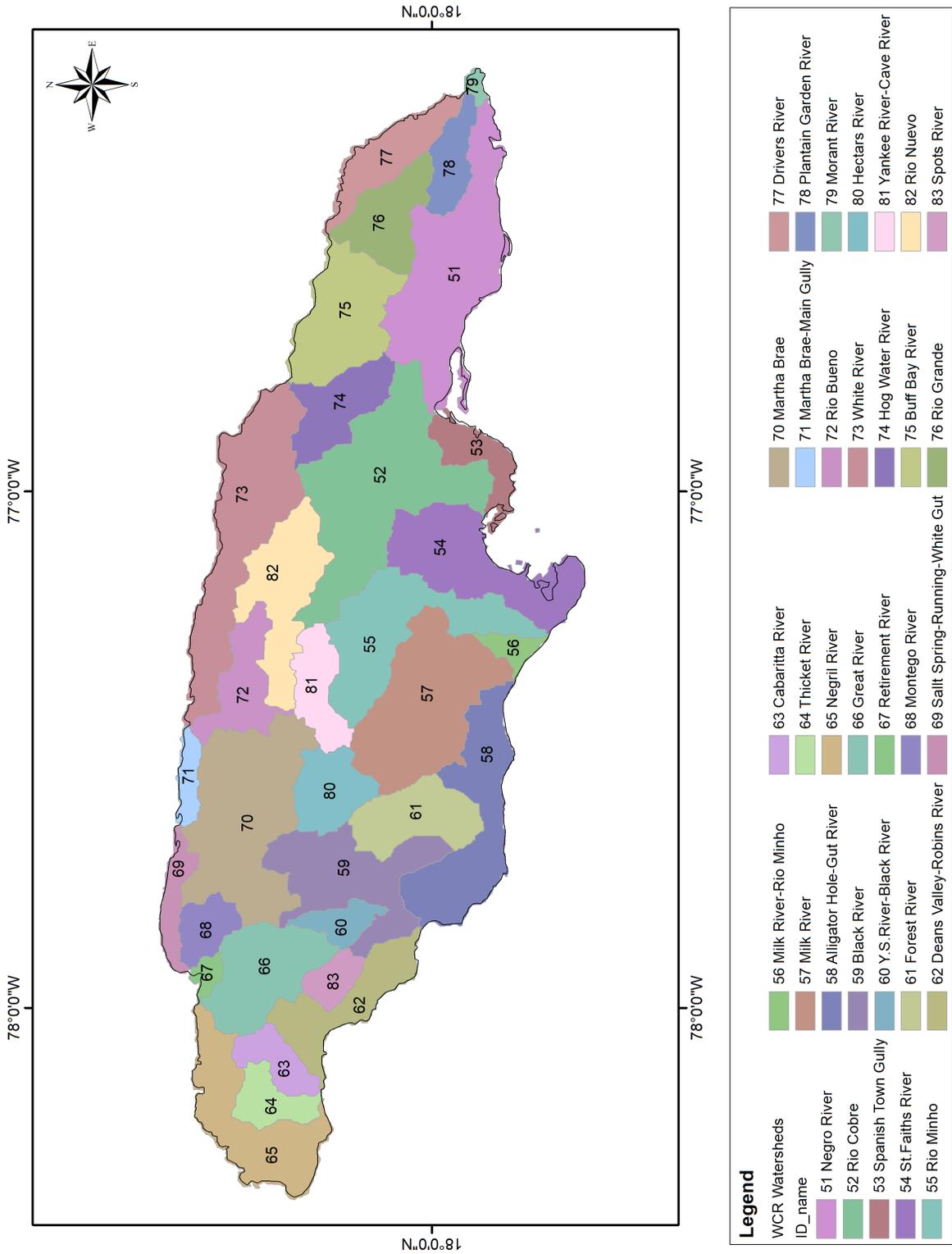
# Cuencas hidrográficas insulares: Cuba



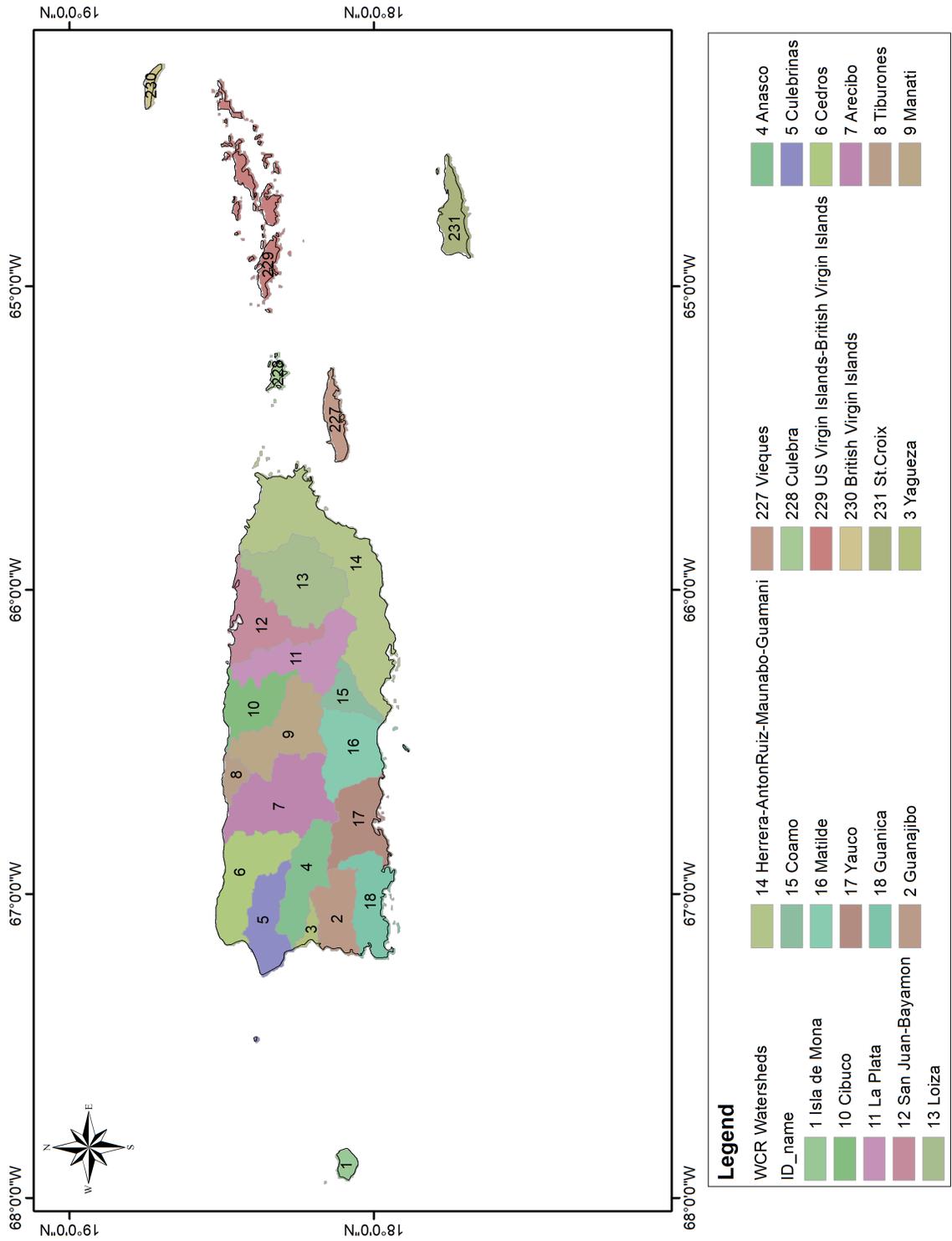
# CAÑONES INSULARES: Haití. República Dominicana



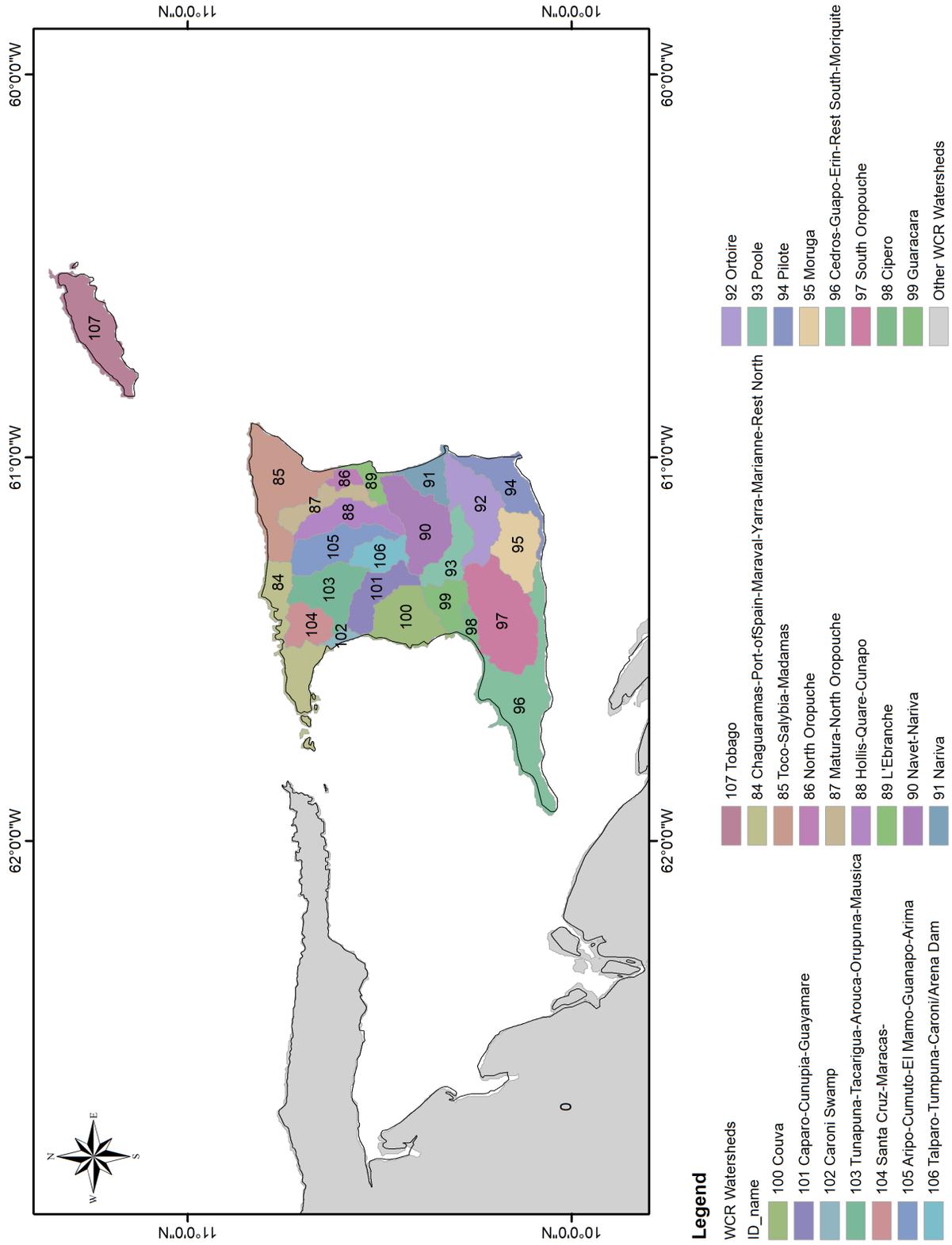
# CUENCAS HIDROGRÁFICAS INSULARES: Jamaica

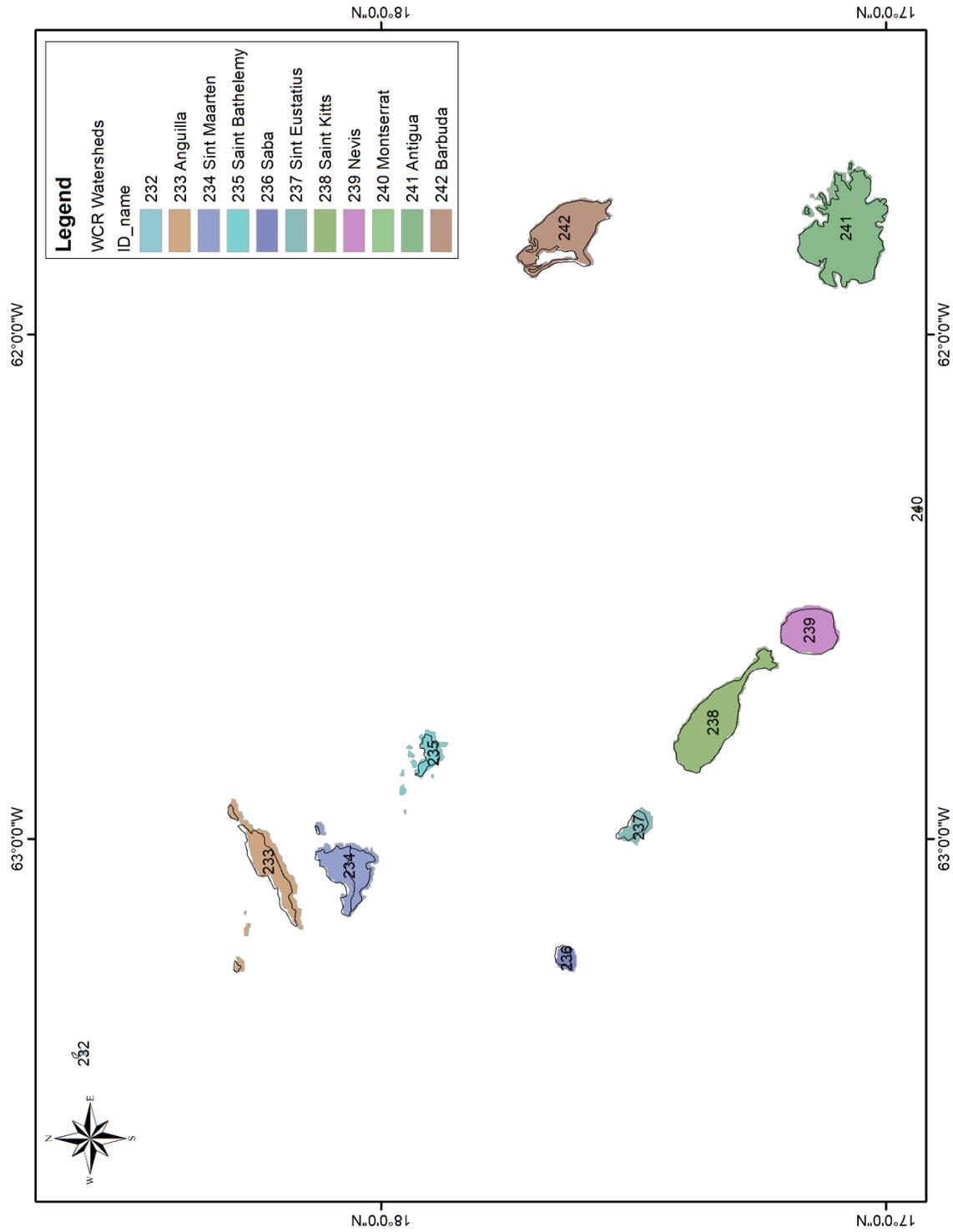


CUENCAS INSULARES: Puerto Rico, Islas Vírgenes de EE.UU.

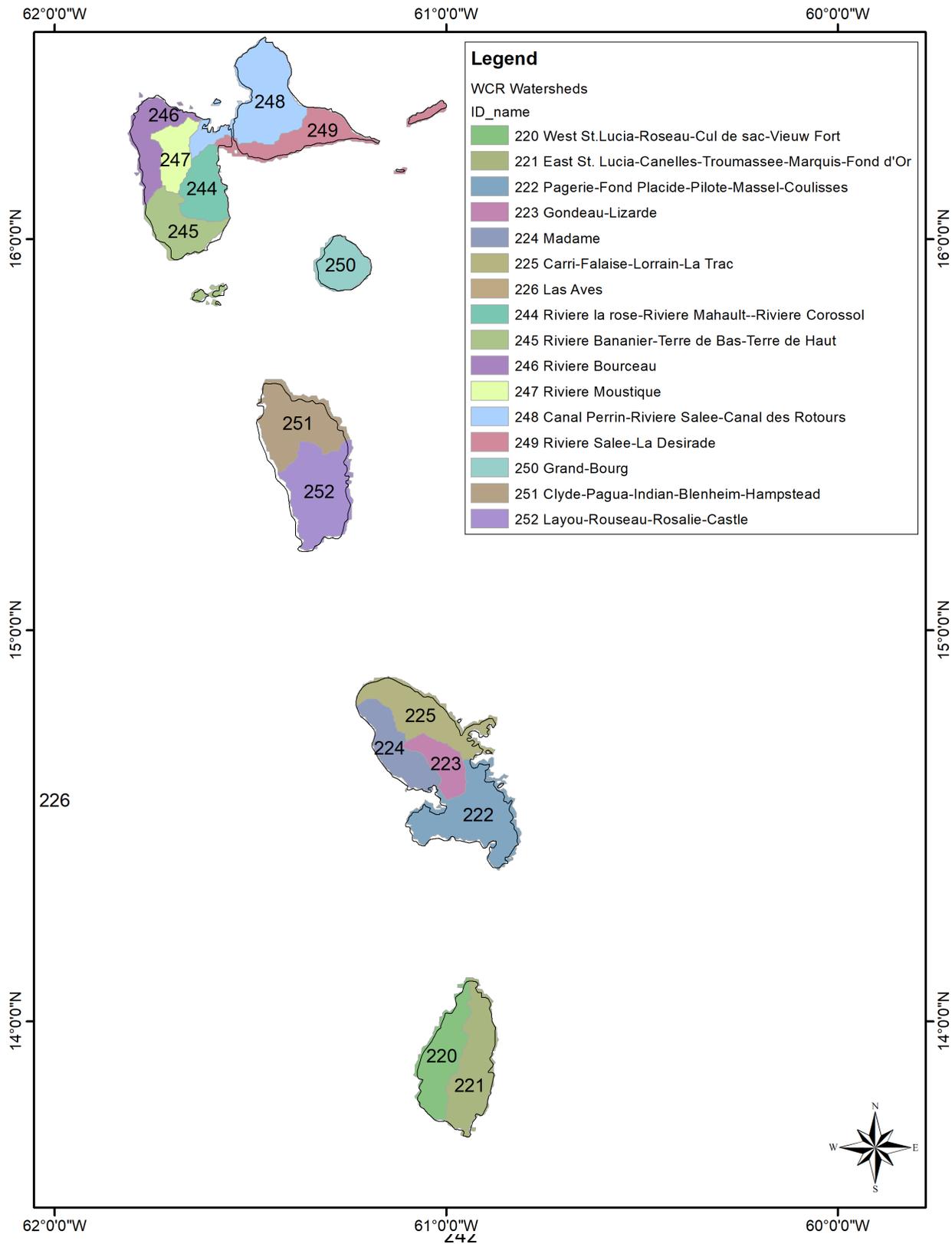


# CUENCAS HIDROGRÁFICAS INSULARES: Trinidad y Tobago

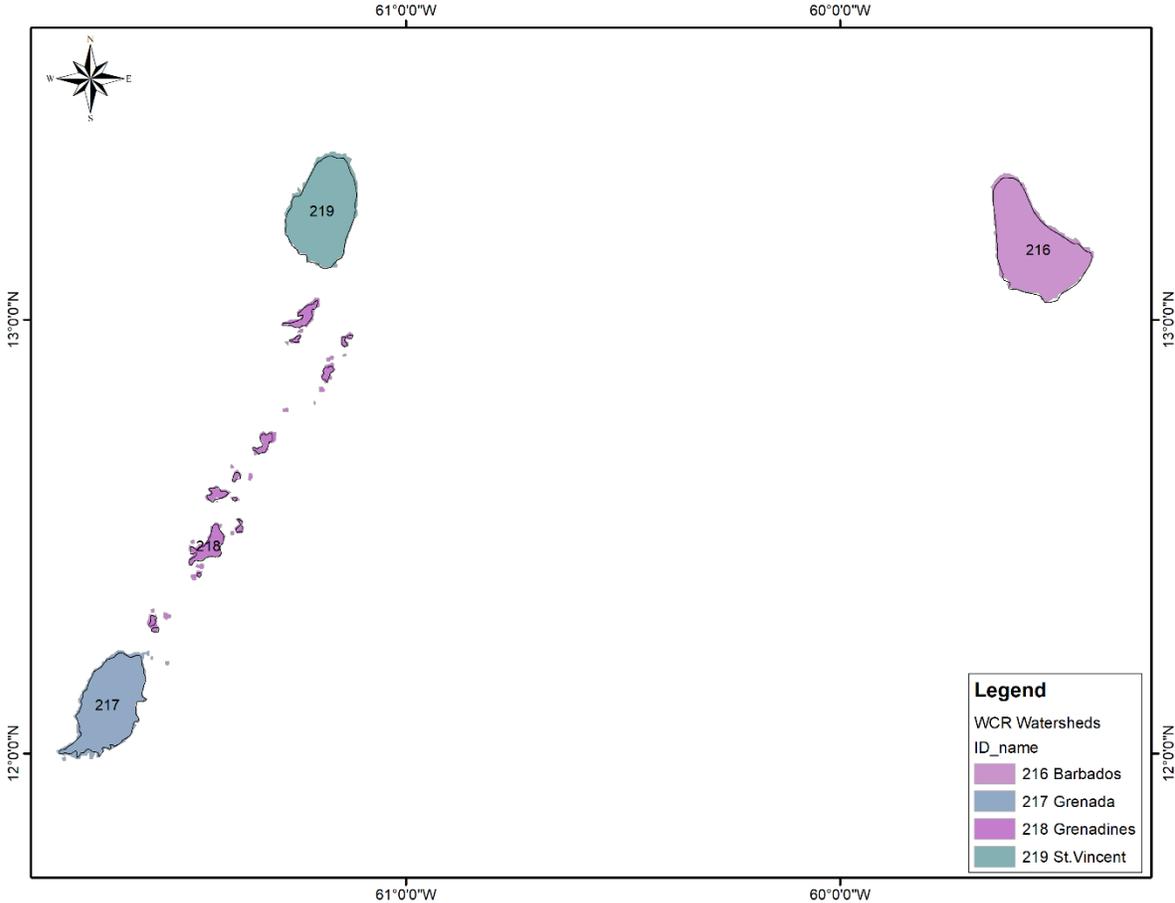




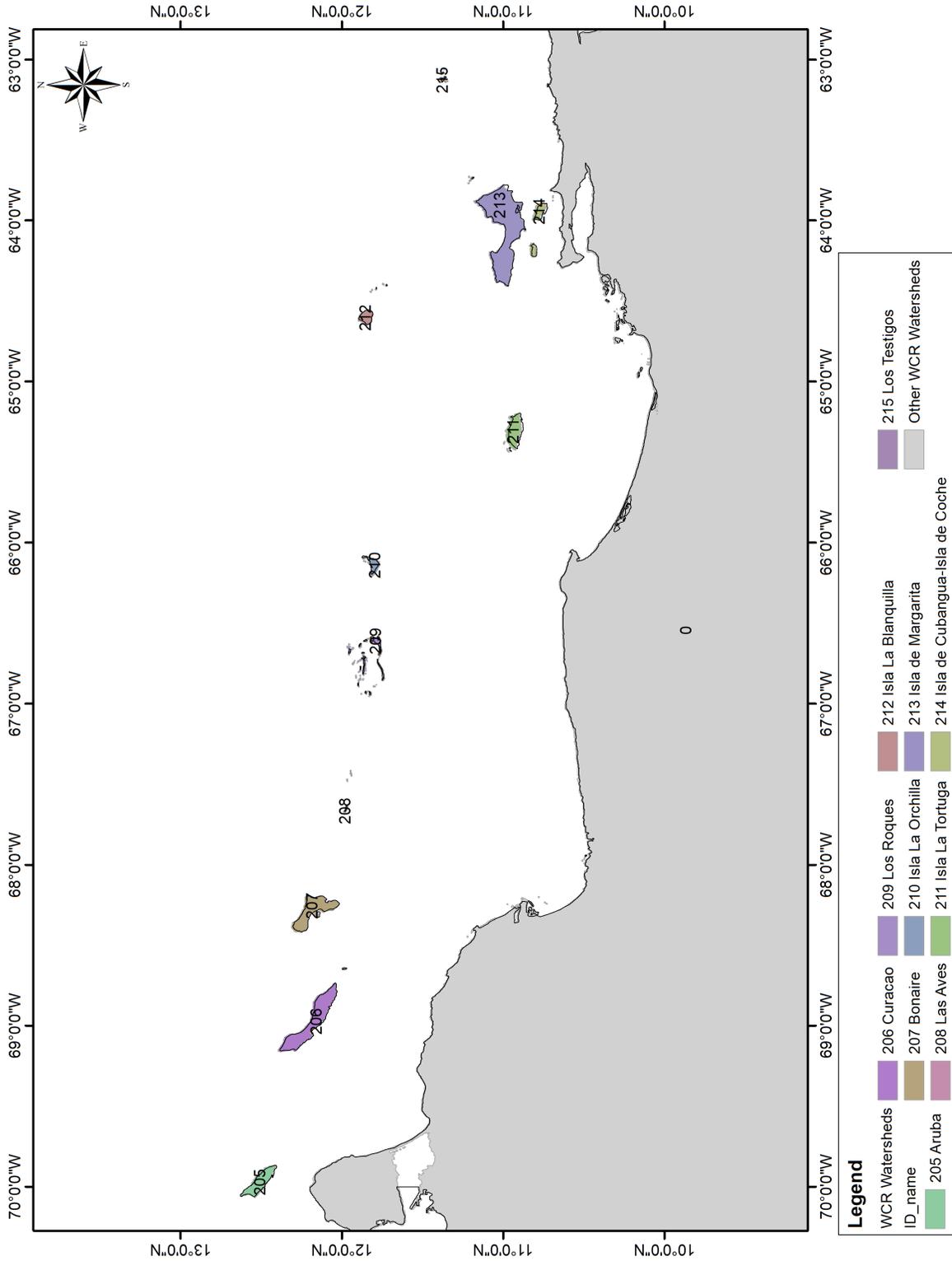
Zonas acuáticas insulares: Guadalupe, Dominica, Martinica, Santa Lucía



CUENCAS HIDROGRÁFICAS INSULARES: Barbados, Granada, San Vicente y las Granadinas



CUENCAS HIDROGRÁFICAS INSULARES: Aruba, Bonaire, Curacao



## 6.2 ANEXO 3.2 CUENCAS FLUVIALES TRANSFRONTERIZAS EN LA REGIÓN DEL GRAN CARIBE

FUENTE DE DATOS: <http://twap-rivers.org/indicators/>

Hojas informativas sobre las cuencas fluviales disponibles en:

<http://twap-rivers.org/#results-data-portal> (en la web)

<http://geftwap.org/publications/vol-6-annex-a> (compilación, América del Norte)

<http://geftwap.org/publications/vol-6-annex-b> (compilación, América Central y el Caribe)

<http://geftwap.org/publications/vol-6-annex-c> (compilación, América del Sur)

El cuadro ofrece un resumen de las evaluaciones de riesgo de las cuencas fluviales transfronterizas en la región del Gran Caribe, realizadas por el Componente de Cuencas Fluviales Transfronterizas del Programa de Evaluación de Aguas Transfronterizas financiado por el FMAM. Los fundamentos técnicos de la evaluación pueden consultarse en el sitio web y en las publicaciones mencionadas anteriormente.

Existen fichas de información sobre los sistemas hídricos de cada una de las 26 cuencas fluviales transfronterizas de la Región del Gran Caribe. Se puede acceder a ellas como documentos descargables a través del sitio web, o como parte de las compilaciones regionales mencionadas anteriormente.



MUY BAJO      BAJO      MEDIO      ALTO      MUY ALTO

RIVER BASIN	RIVER BASIN CODE	Country	Area [000' km2]	Population [000']	Runoff [mm/year]	Discharge [km3/year]	4. Nutrient Pollution	5. Wastewater Pollution	Basin Risk Category (average)
Mississippi	MISS		3208	78174	221	709.76	4	2	2.87
Mississippi	MISS_USA	United States	3182	78161	223			2	2.71
Mississippi	MISS_CAN	Canada	26	13	7			1	2.50
Rio Grande (N Amer)	RGNA		538	10969	23	12.11	3	3	3.20
Rio Grande (N Amer)	RGNA_MEX	Mexico	224	7788	26			4	3.21
Rio Grande (N Amer)	RGNA_USA	United States	315	3181	20			2	3.00
Belize	BLZE		8	110	629	5.34	2	5	2.64
BLZE_BLZ	Belize	Belize	6	74	618			5	2.69
BLZE_GTM	Guatemala	Belize	2	36	670			5	2.62
Candelaria	CDLR		15	168	331	4.84	2	4	2.33
Candelaria	CDLR_GTM	Guatemala	2	10	303			5	2.36
Candelaria	CDLR_MEX	Mexico	12	158	349			4	2.36
Grijalva	GJLV		126	8302	1011	127.11	2	4	2.87
Grijalva	GJLV_BLZ	Belize	0	0	-1			5	2.88
Grijalva	GJLV_GTM	Guatemala	47	3405	1176			5	2.86
Grijalva	GJLV_MEX	Mexico	79	4897	934			4	2.86
Hondo	HOND		13	163	244	3.10	2	4	2.07
Hondo	HOND_BLZ	Belize	3	29	276			5	2.46
Hondo	HOND_GTM	Guatemala	5	53	347			5	2.23
Hondo	HOND_MEX	Mexico	5	81	187			4	1.93
Chamelecon	CHAM		4	1382	645	2.86	3	5	3.00
Chamelecon	CHAM_GTM	Guatemala	0	0	-1			5	3.57
Chamelecon	CHAM_HND	Honduras	4	1382	645			5	2.93
Changuinola	CGNL		3	68	1230	3.96	2	5	2.40
Changuinola	CGNL_CRI	Costa Rica	0	4	-1			5	3.00
Changuinola	CGNL_PAN	Panama	3	64	1230			4	2.46
Coco/Segovia	COCO		25	895	1050	25.73	2	5	2.47
Coco/Segovia	COCO_NIC	Nicaragua	19	818	957			5	2.50
Coco/Segovia	COCO_HND	Honduras	6	77	1514			5	2.21
Moho	MOHO		1	17	1870	2.22	2	5	2.50
Moho	MOHO_BLZ	Belize	1	4	-1			5	3.00
Moho	MOHO_GTM	Guatemala	0	12	1870			5	2.46
Motaqua	MOTQ		16	3846	836	13.60	4	5	3.00
Motaqua	MOTQ_GTM	Guatemala	14	3676	930			5	2.93
Motaqua	MOTQ_HND	Honduras	2	170	584			5	2.57
San Juan	SJUA		41	3443	1213	50.18	3	5	3.27
San Juan	SJUA_NIC	Nicaragua	28	2483	827			5	3.29
San Juan	SJUA_CRI	Costa Rica	13	960	1886			5	3.07
Sarstun	SRTU		2	78	-1	-1.00	2	5	3.11
Sarstun	SRTU_BLZ	Belize	0	2	-1			5	3.11
Sarstun	SRTU_GTM	Guatemala	2	75	-1			5	3.00
Sixaola	SIOL		3	48	1622	4.63	2	5	2.73
Sixaola	SIOL_CRI	Costa Rica	2	38	2212			5	2.64
Sixaola	SIOL_PAN	Panama	1	10	442			4	2.64
Temash	TEMA		0	3	1534	0.72	2	5	2.73
Temash	TEMA_GTM	Guatemala	0	1	-1			5	2.88
Temash	TEMA_BLZ	Belize	0	3	1534			5	2.64
Amacuro	AMCR		4	1	932	3.47	2	5	2.29
Amacuro	AMCR_VEN	Venezuela	3	0	883			5	2.29
Amacuro	AMCR_GUY	Guyana	1	1	1031			5	2.20
Barima	BRMA		1	0	649	0.60	2	5	2.64
Barima	BRMA_GUY	Guyana	0	0	-1			5	2.88
Barima	BRMA_VEN	Venezuela	1	0	649			5	2.36
Catatumbo	CTTB		27	1809	719	19.71	4	5	2.64
Catatumbo	CTTB_VEN	Venezuela	11	440	605			5	2.64
Catatumbo	CTTB_COL	Colombia	17	1369	907			5	2.62
Corantijn/Courantyne	CRTY		64	111	712	45.57	2	5	2.29
Corantijn/Courantyne	CRTY_BRA	Brazil	0	0	-1			5	2.75
Corantijn/Courantyne	CRTY_SUR	Suriname	37	8	752			5	2.38
Corantijn/Courantyne	CRTY_GUY	Guyana	26	103	622			5	2.15
Essequibo	ESQB		154	205	1013	156.24	2	5	2.57
Essequibo	ESQB_GUY	Guyana	115	41	1111			5	2.92
Essequibo	ESQB_BRA	Brazil	0	0	-1			5	2.75



MUY BAJO

BAJO

MEDIO

ALTO

MUY ALTO

RIVER BASIN	RIVER BASIN CODE	Country	Area [000' km2]	Population [000']	Runoff [mm/year]	Discharge [km3/year]	4. Nutrient Pollution	5. Wastewater Pollution	Basin Risk Category (average)
Essequibo	ESQB_VEN	Venezuela	39	164	733			5	2.36
Maroni	MRNI		66	43	866	57.27	2	5	2.43
Maroni	MRNI_BRA	Brazil	0	0	-1			5	2.44
Maroni	MRNI_GUF	French Guiana	28	36	948			5	2.38
Maroni	MRNI_SUR	Suriname	38	7	804			5	2.31
Oiapoque/Oyupock	OYPK		26	11	1393	36.20	2	5	2.29
Oiapoque/Oyupock	OYPK_BRA	Brazil	13	6	1459			5	2.36
Oiapoque/Oyupock	OYPK_GUF	French Guiana	13	5	1334			5	2.15
Orinoco	ORIN		934	12165	1183	1105.46	2	5	3.07
Orinoco	ORIN_VEN	Venezuela	587	8298	1001			5	3.14
Orinoco	ORIN_GUY	Guyana	0	0	-1			5	3.00
Orinoco	ORIN_COL	Colombia	346	3867	1505			5	2.92
Orinoco	ORIN_BRA	Brazil	1	0	-1			5	2.63
Amazon	AMZN		5888	32164	1111	6540.45	2	5	2.87
Amazon	AMZN_BOL	Bolivia	713	7707	475			5	3.00
Amazon	AMZN_ECU	Ecuador	132	2785	736			5	2.79
Amazon	AMZN_GUF	French Guiana	0	0	-1			5	2.71
Amazon	AMZN_SUR	Suriname	0	0	-1			5	2.71
Amazon	AMZN_PER	Peru	961	10979	616			4	2.64
Amazon	AMZN_COL	Colombia	341	1740	2201			5	2.38
Amazon	AMZN_BRA	Brazil	3677	8946	1262			5	2.29
Amazon	AMZN_VEN	Venezuela	52	2	2254			5	2.29
Amazon	AMZN_GUY	Guyana	13	4	879			5	1.92
Artibonite	ATBN		9	1456	307	2.72	4	5	3.43
Artibonite	ATBN_HTI	Haiti*	6	1313	325			5	3.23
Artibonite	ATBN_DOM	Dominican Republic	3	143	254			5	2.90
Massacre	MASS		1	152	30	0.02	4	5	3.30
Massacre	MASS_HTI	Haiti	0	127	30			5	3.64
Massacre	MASS_DOM	Dominican Republic	0	25	-1			5	2.88
Pedernales	PDNL		0	23	-1	-1.00		5	2.50
Pedernales	PDNL_HTI	Haiti	0	19	-1			5	2.89
Pedernales	PDNL_DOM	Dominican Republic	0	4	-1			5	2.57

### 6.3 ANEXO 3.3 INFORMES DE INUNDACIONES COSTERAS DE SARGAZO:

31 de marzo al 6 de abril de 2020; 30 de marzo al 5 de abril de 2021

FUENTE: [https://www.aoml.noaa.gov/phod/sargassum\\_inundation\\_report/pdf/SIR\\_20200525.pdf](https://www.aoml.noaa.gov/phod/sargassum_inundation_report/pdf/SIR_20200525.pdf)

Este anexo proporciona dos informes semanales, con un intervalo de un año, sobre las inundaciones costeras de Sargazo en el Informe del Gran Caribe.

Objetivo de los informes semanales:

"Desde 2011, las grandes acumulaciones de Sargazo son un problema recurrente en el Mar Caribe, en el Golfo de México y en el Atlántico tropical. Estos eventos pueden causar importantes daños económicos, ambientales y de salud pública. Estos informes experimentales sobre la inundación de sargazo (SIR) proporcionan una visión general del riesgo de inundación costera de sargazo en las regiones del Caribe y del Golfo de México. Utilizando como insumos básicos los campos AFAI (Índice de Algas Flotantes Alternativas) generados por la Universidad del Sur de Florida (USF), el algoritmo analiza los valores AFAI en la vecindad (50 km) de cada píxel costero y, computando la diferencia entre esos valores y una línea base de varios días, clasifica el riesgo en tres categorías: bajo (azul), medio (naranja) y alto (rojo). En negro están las zonas sin datos suficientes. Los dos umbrales ad hoc utilizados para la clasificación son 0,001 y 0,003. Los vectores de las imágenes representan las corrientes geostroficadas. El SIR es el resultado de la colaboración entre el Laboratorio Oceanográfico y Meteorológico de la Atlántida (NOAA/AOML), NOAA/CoastWatch/OceanWatch y la USF. "

Para el propósito de la estrategia de nutrientes, los informes semanales de riesgo proporcionan una forma objetiva de evaluar potencialmente los impactos ambientales, sociales y económicos de las macroalgas nocivas en las poblaciones residentes y sus economías azules. Estos informes semanales de riesgo de inundación se han elaborado desde junio de 2019.

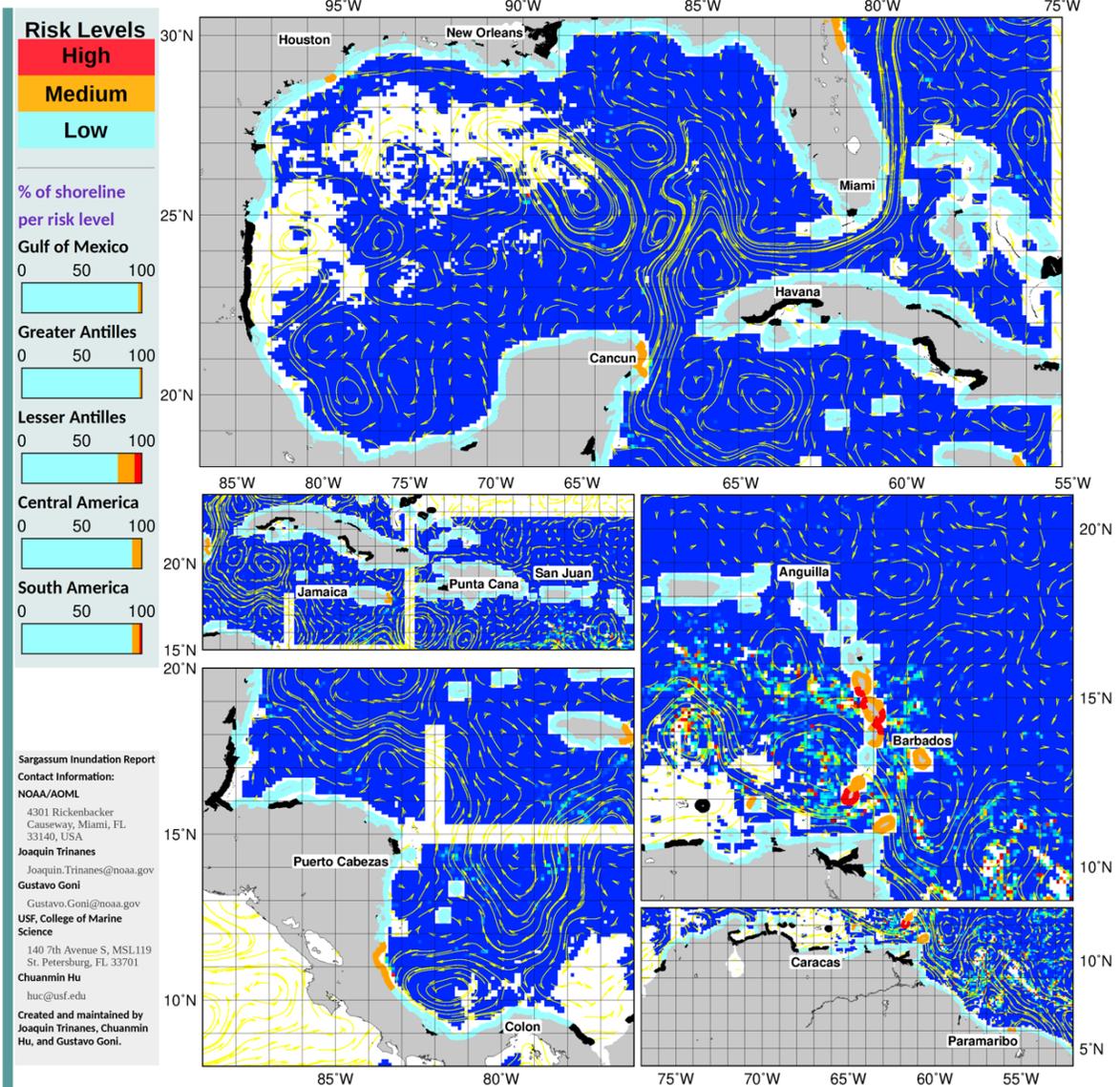


## Experimental Weekly Sargassum Inundation Report (SIR v1.2)

By the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and the University of South Florida (USF)

Status: Mar 31-Apr 6, 2020

Since 2011, large accumulations of Sargassum is a recurrent problem in the Caribbean Sea, in the Gulf of Mexico and tropical Atlantic. These events can cause significant economic, environmental and public health harm. These experimental Sargassum Inundation Reports (SIR) provide an overview of the risk of sargassum coastal inundation in the Caribbean and Gulf of Mexico regions. Using as core inputs the AFAI (Alternative Floating Algae Index) fields generated by the University of South Florida (USF), the algorithm analyses the AFAI values in the neighborhood (50 km) of each coastal pixel and, computing the difference between those values and a multiday baseline, classifies the risk into three categories: low (blue), medium (orange) and high (red). In black are areas with not enough data. The two ad-hoc thresholds used for classification are 0.001 and 0.003. The vectors in the images represent the geostrophic currents. SIR is the result of the collaboration between the Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (NOAA/AOML), NOAA/CoastWatch/OceanWatch, and USF.



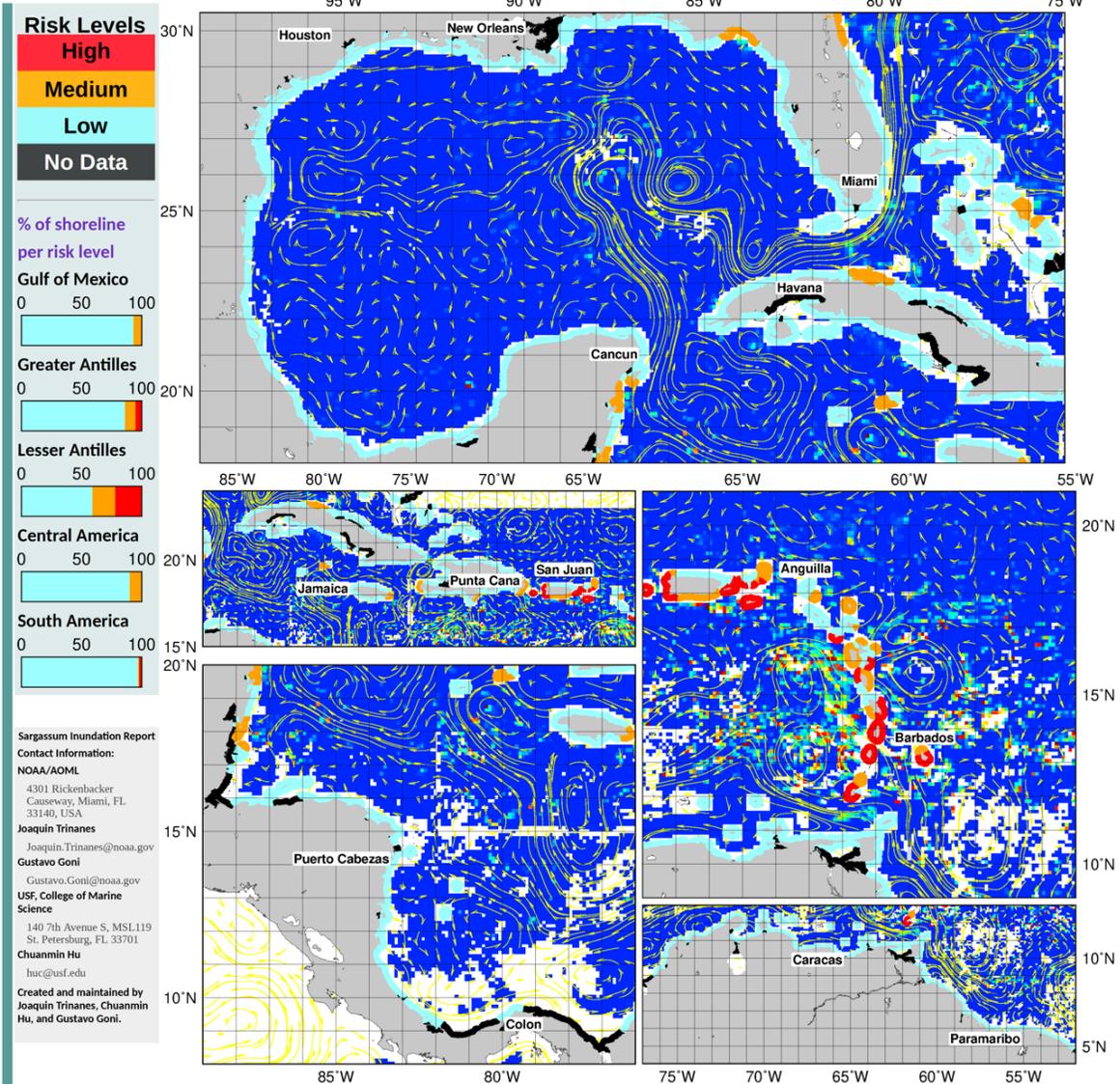


# Experimental Weekly Sargassum Inundation Report (SIR v1.2)

By the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and the University of South Florida (USF)

Status: Mar 30-Apr 5, 2021

Since 2011, large accumulations of Sargassum is a recurrent problem in the Caribbean Sea, in the Gulf of Mexico and tropical Atlantic. These events can cause significant economic, environmental and public health harm. These experimental Sargassum Inundation Reports (SIR) provide an overview of the risk of sargassum coastal inundation in the Caribbean and Gulf of Mexico regions. Using as core inputs the AFAI (Alternative Floating Algae Index) fields generated by the University of South Florida (USF), the algorithm analyses the AFAI values in the neighborhood (50 km) of each coastal pixel and, computing the difference between those values and a multiday baseline, classifies the risk into three categories: low (blue), medium (orange) and high (red). In black are areas with not enough data. The two ad-hoc thresholds used for classification are 0.001 and 0.003. The vectors in the images represent the geostrophic currents. SIR is the result of the collaboration between the Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory (NOAA/AOML), NOAA/CoastWatch/OceanWatch, and USF.



**Sargassum Inundation Report**  
 Contact Information:  
 NOAA/AOML  
 4301 Rickenbacker  
 Causeway, Miami, FL  
 33140, USA  
 Joaquin Trinanes  
 Joaquin.Trinanes@noaa.gov  
 Gustavo Goni  
 Gustavo.Goni@noaa.gov  
 USF, College of Marine  
 Science  
 140 7th Avenue S, MSL119  
 St. Petersburg, FL 33701  
 Chuanmin Hu  
 hu@c.usf.edu  
 Created and maintained by  
 Joaquin Trinanes, Chuanmin  
 Hu, and Gustavo Goni.

References: [USF Sargassum Watch System](#) [Atlantic OceanWatch](#)  
 Disclaimer: This is an experimental product and still subject to validation by NOAA/AOML, NOAA/CoastWatch/OceanWatch, and USF.