

COLOMBIA



DOS MARES, UN PAÍS;

TERRITORIOS POR EXPLORAR.

Néstor Hernando Campos
EDITOR

COLOMBIA BIOAZUL:
DOS MARES UN PAÍS, TERRITORIOS POR EXPLORAR

COLOMBIA BIO AZUL:

DOS MARES, UN PAÍS;

TERRITORIOS POR EXPLORAR.

Néstor Hernando Campos Campos
EDITOR



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Santa Marta D.T.C.H. 2023

© Universidad Nacional de Colombia – Sede Caribe
Instituto de Estudios en Ciencias del Mar – CECIMAR

© Néstor Hernando Campos Campos
Editor académico

© Néstor Hernando Campos Campos, César Toro,
Andrés Franco Herrera, Nancy Liliana Villegas Bolaños,
José Ernesto Mancera Pineda, Luisa Fernanda Espinosa
Díaz, Lina María Saavedra Díaz, John Josephraj Selvaraj,
María Alejandra Cifuentes Ossa, Carlos Andrés Meza,
Carlos Alberto Vargas, Andrés Fernando Osorio Arias,
Edgardo Londoño Cruz, Brigitte Gavio, Juan Manuel
Díaz M., Leonardo Castellanos Hernández, Capitán de
Navío Juan Camilo Forero Hauzeur, Guillermo Duque
Nivia y Adriana Santos Martínez.

Autores de los capítulos

.....
PRIMERA EDICIÓN, FEBRERO 2023

ISBN 978-958-505-136-2 | PAPEL

ISBN 978-958-505-137-9 | DIGITAL

20 AÑOS DE PRESENCIA – SEDE CARIBE

Edición
Unimedios
unimedios_nal@unal.edu.co
unimedios.unal.edu.co

Coordinación editorial
Néstor Hernando Campos Campos

Corrección de estilo y apoyo editorial
Andrés Merchán Cepeda

Personal de apoyo
Jeimmy Paola Rico Mora, Julián Ricardo Beltrán Lizara-
zo y Nelson Alejandro Lozano Mendoza

Diagramación
Oficina de Comunicación Estratégica - Unimedios /
Cristhian Alexander Saavedra Tolosa, Lorena Viviana
Rodríguez Peña y Ramiro Alberto Chacón Martínez

Imagen de la cubierta:
CEMARIN

Prohibida la reproducción total o parcial por
cualquier medio sin la autorización
escrita del titular de los derechos patrimo-
niales.

Impreso y hecho en Santa Marta D.T.C.H., Colombia.

.....
CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN UNIVERSIDAD
NACIONAL DE COLOMBIA

Colombia bioazul : dos mares, un país ; territorios por explorar /
Néstor Hernando Campos, editor. -- Primera edición. -- Santa Marta :
Universidad Nacional de Colombia (Sede Caribe). Instituto de Estudios
en Ciencias del Mar (Cecimar) ; Bogotá : Universidad Nacional de
Colombia. Unidad de Medios de Comunicación (Unimedios), 2023

1 RECURSO EN LÍNEA (358 PÁGINAS) : ilustraciones (principalmente
a color), diagramas, fotografías, mapas. -- (Colección 20 años de
presencia)

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo e índice
analítico ISBN 978-958-505-137-9 (EN LÍNEA)

1. Universidad Nacional de Colombia (Sede Caribe). Instituto de
Estudios en Ciencias del Mar (Cecimar) -- Investigaciones -- Siglo XXI --
Proyectos 2. Ciencias del mar -- Estudio y enseñanza -- Colombia -- Siglo
XXI 3. Oceanografía -- Estudio y enseñanza -- Colombia -- Siglo XXI 4.
Biodiversidad marina -- Conservación -- Colombia -- Siglo XXI 5. Recursos
marinos -- Conservación -- Colombia -- Siglo XXI 6. Aguas marinas -- Con-
taminación -- Colombia -- Siglo XXI 7. Pesca marina 8. Energía del mar I.
Campos Campos, Nestor Hernando, 1955-, editor II. Serie

.....
CDD-23 551.460711 / 2023

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	17
ADRIANA SANTOS MARTÍNEZ JOSÉ ERNESTO MANCERA PINEDA	

LAS CIENCIAS DEL MAR EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

CAPÍTULO 1	19
LAS CIENCIAS DEL MAR EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	
NÉSTOR HERNANDO CAMPOS CAMPOS	

UN PLANETA UN OCÉANO

CAPÍTULO 2	31
DÉCADA DE LOS OCÉANOS: RETOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE	
CÉSAR TORO	
CAPÍTULO 3	43
MISIÓN DE SABIOS: OCÉANOS Y RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS	
ANDRÉS FRANCO HERRERA	

EL OCÉANO EN EL PLANETA

CAPÍTULO 4	61
EL OCÉANO COMOREGULADOR DEL CLIMA	
NANCY LILIANA VILLEGAS BOLAÑOS	
CAPÍTULO 5	87
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROVISTOS POR EL OCÉANO	
JOSÉ ERNESTO MANCERA PINEDA	

LOS OCÉANOS EN EL ANTROPOCENO

CAPÍTULO 6 103

CONTAMINACIÓN POR BASURA MARINA EN COLOMBIA

LUISA FERNANDA ESPINOSA DÍAZ

CAPÍTULO 7 121

METALES PESADOS, CONTAMINACIÓN Y EFECTOS

NÉSTOR HERNANDO CAMPOS CAMPOS

REALIDADES, RETOS Y FORTALECIMIENTO DE LAS COMUNIDADES COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA

CAPÍTULO 8 143

EN BUSCA DE UN MANEJO PESQUERO PARTICIPATIVO EN COLOMBIA

LINA MARÍA SAAVEDRA DÍAZ

CAPÍTULO 9 159

LA PESCA ARTESANAL MARINA EN EL PACÍFICO COLOMBIANO - PERCEPCIONES Y DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

JOHN JOSEPHRAJ SELVARAJ Y MARIA ALEJANDRA CIFUENTES OSSA

CAPÍTULO 10 181

PENSAR EL MAR EN EL LITORAL HÚMEDO Y ACUÁTICO

CARLOS ANDRÉS MEZA

ENERGÍA MARINA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

CAPÍTULO 11 193

ENERGÍA MARINA, NUEVAS TECNOLOGÍAS E INDUSTRIA OFFSHORE

CARLOS ALBERTO VARGAS

CAPÍTULO 12 205

ENERGÍA MARINA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA - OCEANICOS

ANDRÉS FERNANDO OSORIO ARIAS

RETOS DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS DEL MAR EN COLOMBIA

CAPÍTULO 13 221

PACÍFICO COLOMBIANO: UNA DEUDA DEL PAÍS PARA CON LAS CIENCIAS DEL MAR (Y EL PAPEL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE)

EDGARDO LONDOÑO-CRUZ

CAPÍTULO 14 231

LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE LAS CIENCIAS MARINAS EN EL SIGLO XXI

ANDRÉS FRANCO HERRERA

BIODIVERSIDAD MARINA: CONOCER PARA CONSERVAR

CAPÍTULO 15 239

HISTORIA DE LA FICOLOGÍA EN COLOMBIA

BRIGITTE GAVIO

CAPÍTULO 16 255

UNA MIRADA A LA IDENTIFICACIÓN DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINA

JUAN MANUEL DÍAZ M.

CAPÍTULO 17 271

BIODIVERSIDAD DE CRUSTÁCEOS MARINOS

NÉSTOR HERNANDO CAMPOS CAMPOS

BIOPROSPECCIÓN MARINA: RETOS Y PERSPECTIVAS

CAPÍTULO 18 287

**RETOS EN EL ESTUDIO DE PRODUCTOS NATURALES MARINOS:
EL SUMINISTRO.**

LEONARDO CASTELLANOS HERNÁNDEZ

EXPLORANDO LOS OCÉANOS

CAPÍTULO 19 315

**EXPEDICIONES CIENTÍFICAS EN COLOMBIA Y PROGRAMA
ANTÁRTICO COLOMBIANO**

CAPITÁN DE NAVÍO JUAN CAMILO FORERO HAUZEUR

CONVERSATORIO – RESUMEN EXTENDIDO

CAPÍTULO 20 331

**RETOS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA EN
CIENCIAS DEL MAR**

JOSÉ ERNESTO MANCERA PINEDA

CAPÍTULO 21 339

**RETOS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL EN CIENCIAS DEL MAR
- SEDE PALMIRA**

GUILLERMO DUQUE

CAPÍTULO 22 341

**RETOS EN CIENCIAS DEL MAR - UNIVERSIDAD NACIONAL DE
COLOMBIA, SEDE CARIBE**

ADRIANA SANTOS-MARTÍNEZ

ÍNDICE ANALÍTICO 350

PRESENTACIÓN

La presente obra, “Colombia Bioazul: Dos Mares Un País; Territorios por Explorar”, es producto de una Cátedra Nacional, liderada por el Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - v de la Sede Caribe - Universidad Nacional de Colombia, con el apoyo de profesores de las sedes Bogotá, Medellín, Palmira y Tumaco, así como del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras ‘José Benito Vives de Andrés’ - INVEMAR y de la Corporación Centro de Excelencia en Ciencias Marinas - CEMARIN. El propósito fundamental de la cátedra, dirigida a todas las áreas del conocimiento, fue reflexionar sobre la importancia del océano para el bienestar de la sociedad y la necesidad de tomar acciones desde diferentes ámbitos, para el aprovechamiento sostenible y equitativo de los recursos y servicios ecosistémicos provistos por el océano, con énfasis en el territorio marino colombiano. El grupo de autores, pertenecientes a diferentes instituciones, abordó integralmente diversos aspectos del mar, mostrando la situación actual tanto en Colombia como a nivel global.

La obra es una contribución significativa y de alta relevancia, que se enmarca en el PLei - Plan Estratégico Institucional de la Universidad Nacional de Colombia 2034 y los planes 2019 - 2021, PGD - Plan Global de Desarrollo de la Universidad y PA - Acción de la Sede Caribe, como una apuesta que impulsa las ciencias del mar del país. Así mismo es un aporte al inicio de la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible 2021 - 2030, declarada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Esta iniciativa que tiene por lema “la ciencia que necesitamos para el océano que queremos”, busca movilizar a la comunidad científica, al sector político, económico y a la sociedad civil, en torno a un programa común de gestión del conocimiento del mar, hacia la innovación social y tecnológica.

Para la comunidad académica en general y la dedicada a las ciencias del mar, la Cátedra, así como el presente libro, son insumos clave para conectar ciencia y sociedad, promover el cuidado de los ecosistemas marino-costeros, generar sentido de pertenencia por el maritorio, incentivar el desarrollo científico en el país a través de la formación de capital humano ético, crítico y propositivo, que plantee alternativas y soluciones para alcanzar retos del PLei de la Universidad Nacional y las metas establecidas en el ODS 14 vida submarina de la agenda 2030.

Los invitamos a disfrutar del presente libro y a seguir construyendo nación desde los territorios.

José Ernesto Mancera Pineda

Profesor Titular

Departamento de Biología

Facultad de Ciencias – Sede Bogotá

Universidad Nacional de Colombia

Adriana Santos Martínez

Profesora Asociada

Directora

Sede Caribe

Universidad Nacional de Colombia

LAS CIENCIAS DEL MAR EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

CAPÍTULO 1

LAS CIENCIAS DEL MAR EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

► **Néstor Hernando Campos Campos**

*Director del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR,
Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe
nhcamposc@unal.edu.co*

Introducción

“Colombia Bioazul: dos mares un país, territorios por explorar”, es una idea que se ha venido madurando desde hace ya dos años. En agosto de 2019, se realizó una reunión en Bogotá para el desarrollo del VII Seminario “Las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia” y se decidió hacer la Cátedra del Mar. En este proceso se debe reconocer, el apoyo por parte de entidades como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, que es el socio permanente del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR y de la Sede Caribe de la Universidad Nacional de Colombia.

Reiteradamente se ha expresado que el estudio del mar y su complejidad no alcanza los niveles con los que este estudio se lleva a cabo en el medio terrestre, a pesar de ser semejantes en su dimensión; si se habla en términos de superficie representa aproximadamente el 50% y si tenemos en cuenta su tridimensionalidad, es decir que, si miramos el océano en las tres dimensiones, posiblemente es mucho más grande del territorio emergido de la tierra.

La Universidad en su vocación y desarrollo local y regional ha sido uno de los baluartes en el estudio del mar. Desde finales de la década de 1970 asumió un compromiso con la generación de conocimiento del mar, que se ha fortalecido con la creación de la maestría en biología marina, del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR y posteriormente el traslado de éste a la Sede Caribe, de presencia nacional.

Es difícil saber desde cuándo la Universidad empezó a generar conocimiento en la parte marina hasta donde se ha podido investigar. En geociencia posiblemente, se dio inicio a la primera generación de conocimiento. Entonces, por ejemplo, en un resumen de los artículos publicados por parte de docentes de geociencias (información: Grupo 50% MAR de Geología Marina, Costera y Oceanografía, profesora Nancy Villegas. Sede Bogotá), los primeros registros son de 1927, continuando a lo largo del tiempo.

Dentro de todo el contexto del desarrollo de las ciencias del mar en la Universidad, un estímulo importante lo generó el INVEMAR en la década de 1970. Durante esta época, cuando Colciencias asume el manejo del INVEMAR y lo crea como un proyecto especial, abre la oportunidad para que estudiantes y personal colombiano puedan hacer tesis en este Instituto (inicialmente se creó como una estación tropical de la Universidad de Giessen para estudios tropicales y gran parte de los estudios que realizaron en esa época se relacionaron con la parte terrestre - costera y marina obviamente, pero en mayor medida en la terrestre). El nuevo status del INVEMAR, abrió las puertas a estudiantes del alma mater para realizar sus tesis en el campo marino. Entre los primeros están profesores de la Universidad Nacional (G. Márquez y G. Guillot) quienes realizaron sus tesis de grado, además de las primeras publicaciones en biología marina (1978). Posteriormente, el número de estudiantes de biología que realizaron el trabajo de campo para su tesis de grado fue en aumento.

La Universidad Nacional en el desarrollo de las ciencias del mar

Para la Universidad Nacional de Colombia las ciencias del mar han sido de interés en la formación y en la investigación, como se mostró previamente. En 1977 se firmó un convenio entre Colciencias - INVEMAR y la Universidad Nacional de Colombia para la creación de un posgrado a nivel de maestría en Biología Marina, dando inicio a la primera promoción en 1979. Este posgrado fue administrado por la facultad de Ciencias directamente hasta el final de la década de 1980, posteriormente por el Departamento de Biología y actualmente por la Sede Caribe. Las ciencias del mar en la Universidad Nacional de Colombia recibieron un impulso muy importante desde la facultad de Ciencias, con la creación en el 2001 del CECIMAR. Este centro de estudios se estructuró como una forma de impulsar la investigación en Ciencias del Mar de la facultad de Ciencias y de la Universidad misma con el objeto de convertirse en el organismo encargado de liderar el proceso de desarrollo de las Ciencias del Mar en la facultad.

Los antecedentes que justificaron la propuesta de creación del CECIMAR, fueron varios: Primero, la creación del posgrado en biología marina en la facultad de Ciencias por medio de un convenio firmado por Colciencias, INVEMAR y la Universidad Nacional de Colombia en 1977. Segundo, la disponibilidad de la infraestructura de INVEMAR para el desarrollo del programa de formación de maestría y actualmente doctorado en Biología Marina. Tercero, en 1986, la Universidad creó dos cargos para profesores que se encargaron directamente del desarrollo de la maestría en biología marina y los comisionó permanentemente a la ciudad de Santa Marta. Posteriormente, cuando se estructuran los posgrados en la Universidad y se crea el posgrado en Ciencias Biología con sus líneas (incluyendo la línea de biología marina), el departamento de Biología nombró en dos periodos consecutivos dos docentes de tiempo completo que ayudaran al desarrollo de la biología marina. De esos dos

docentes, uno solicitó posteriormente el traslado directo al CECIMAR mientras que el otro profesor, solicitó su regreso a la Sede Bogotá.

Finalmente, lo que terminó fortaleciendo el inicio de las ciencias del mar en la Universidad fue la creación del doctorado y la unificación del posgrado en Ciencias Biología y la línea de Biología Marina. La creación del CECIMAR fue un paso muy importante que dio la facultad de Ciencias para el apoyo a las ciencias del mar. El CECIMAR fue aprobado según el acuerdo 025 del Consejo Superior Universitario el 17 de diciembre del 2001, y desarrolla sus actividades en la ciudad de Santa Marta dentro de las instalaciones del INVEMAR. Según el acuerdo 020 del 5 de agosto de 2008 del Consejo Superior Universitario, el Centro de Estudios en Ciencias del Mar, unidad académica de investigación y extensión de la facultad de Ciencias Sede Bogotá, se trasladó a la Sede Caribe aunando y acrecentando esfuerzos en torno al fortalecimiento de la investigación en ciencias del mar, ligado al cumplimiento del papel de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe como Sede de presencia nacional y se constituye básicamente como la subsele continental de la Sede Caribe. Con el acuerdo 180 de 2015 por el cual se establece la estructura interna académico - administrativa de la Sede de presencia nacional del Caribe, se convierte en el Instituto de Estudio en Ciencias del Mar y tiene como objeto desarrollar actividades de investigación y extensión en la Sede, en concordancia con las políticas de la Universidad Nacional. Asimismo, le corresponde la gestión y coordinación del proceso de recursos y servicios bibliotecarios, publicaciones y laboratorios. La investigación y extensión que realiza el CECIMAR tendrá énfasis en los campos de la ciencia del mar, preservación y conservación del medio ambiente, biodiversidad y el impacto de las actividades antropogénicas sobre los ecosistemas costeros. Otro paso importante fue el reconocimiento que le hizo Colciencias en el 2019, por medio de la resolución 1071 del 31 de julio del 2001 al CECIMAR, como centro de investigación, al considerar que: el Instituto de Estudios de Ciencias del

Mar - CECIMAR dependiente de la Universidad Nacional de Colombia, desde su creación en el 2001, tiene como visión liderar el desarrollo de investigación interdisciplinaria y la docencia en Ciencias del Mar, involucrando la participación de los diferentes estamentos de la sociedad y aportando el conocimiento del medio marino en Colombia.

En las diferentes sedes de la Universidad se hace investigación, formación y extensión en ciencias del mar. Actualmente hay información de 23 grupos de investigación relacionados con estudios del mar. En siete de éstos el objetivo principal es la investigación y la formación en ciencias del mar, estos son: Grupo de Investigaciones en Oceanología - CENIT, Modelación de Ecosistemas Costeros, Sistemática Molecular y Biogeografía de Algas Marinas y Nostrum Mare (Sede Bogotá); Estudios Ambientales del Caribe y Fauna Marina de Colombia: biodiversidad y usos de la Sede Caribe, Océánicos (Tabla 1.1).

TABLA 1.1. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN CON ACTIVIDADES EN CIENCIAS DEL MAR.

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Grupo de investigación en oceanología CENIT	Física del océano; dinámica del océano; interacción océano-atmósfera; enseñanza de la atmósfera y el océano.	Nancy Liliana Villegas Bolaños	Bogotá
Estudios ambientales del Caribe	Ecología de manglares; modelos de desarrollo turismo y pesca; gestión del riesgo - vulnerabilidad y cambio climático; calidad y educación ambiental; biodiversidad y producción marina y terrestre; sostenibilidad.	Adriana Santos	Caribe
Fauna marina colombiana: Biodiversidad y usos	Fauna marina; sistemática y taxonomía de invertebrados y vertebrados marinos; historia natural; usos de la biodiversidad marina e impacto sobre los ecosistemas.	Néstor Hernando Campos	Caribe

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Modelación de ecosistemas costeros	Microalgas tóxicas; ecología de humedales costeros; modelación de ecosistemas.	José Ernesto Mancera Pineda	Bogotá
Sistemática molecular y biogeografía de algas marinas	Biodiversidad de macroalgas; ecología de pastos marinos.	Brigitte Gavio	Bogotá
Nostrum Mare	Foco la biología marina; autoecología de organismos marinos; ecología de poblaciones y comunidades marinas; ecología pesquera.	Camilo Bernardo García Ramírez	Bogotá
OCEANICOS: Oceanografía e ingeniería costera	Ecosistemas marinos; clima; oceanografía; modelamiento matemático; energía marina; ingeniería costera y portuaria; gestión costera; ingeniería offshore.	Andrés Fernando Osorio Arias	Medellín

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Hay ocho grupos que, aunque no tienen como objetivo principal las ciencias del mar, tienen actividades relacionadas con el mar. Por la Sede Medellín están: Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos y Biotecnología Animal. Por la Sede Bogotá están: Bioprocesos y Bioprospección orientado a la Bioprospección Marina, Simulación de Sistemas de Clima Terrestre, Geotecnología, Investigación en Proteínas (Grip), Estudio y Aprovechamiento de Productos Naturales Marinos y Frutas de Colombia, y Comunicación y Comunidades Bacterianas (Tabla 1.2).

TABLA 1.2. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN QUE EN SUS OBJETIVOS TIENEN LA PARTE MARINA COMO UNA DE SUS METAS.

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Aprovechamiento de recursos hidráulicos	Agroclimatología; desastres naturales; generación de energía; hidrometeorología; mecánica de fluidos; hidráulica e hidrodinámica; oceanografía; planificación de recursos hidráulicos; salud humana; sistemas hidrológicos.	Andrés Ochoa Jaramillo	Medellín

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Bioprocesos y bioprospección	Microorganismos solvenogénicos; bioprospección marina; biopolímeros y bioinsumos; caracterización molecular y bioprospección; ingeniería bioquímica.	Dolly Montoya	Bogotá
Simulación del sistema climático terrestre	Meteorología; meteorología aeronáutica; agrometeorología; climatología; contaminación atmosférica; interacciones océano - atmósfera.	Astrid Baquero Bernal	Bogotá
Investigación en proteínas (Grip)	Caracterización y estudios estructurales de lecitinas de dioclea; diseño y evaluación de péptidos; estudios de lecitinas de algas marinas del Caribe colombiano; prospección, detección, purificación y caracterización de lecitinas de labiadas de Colombia; lecitinas de leguminosas fase II.	Nohora Angélica Vega Castro	Bogotá
Geotecnologías	Indicadores ambientales; biogeografía marina; cartografía geológica; determinación de la teledetección en el estudio de elementos geográficos; exploración de recursos minerales; modelamiento y simulación espacial y numérica en ciencias de la tierra; planificación de espacios marinos y costeros; planificación de recursos hídricos; riesgos naturales; sensores remotos; tecnologías de la información en ciencias de la tierra.	German Vargas Cuervo	Bogotá
Estudio y aprovechamiento de productos naturales marinos y frutas de Colombia	Bioprospección de productos naturales marinos; fitoquímica; microorganismos marinos; semisíntesis.	Leonardo Castellanos Hernández	Bogotá
Comunicación y comunidades bacterianas	Caracterizar a nivel de biología y genética molecular de diversos grupos de microorganismos involucrados en enfermedades encontradas en corales del Caribe colombiano.	Catalina Arevalo Ferro	Bogotá
Biotecnología animal	Investigación en el conocimiento de la biodiversidad marina, terrestre y dulceacuícola de nuestro país; genética de poblaciones y biodiversidad de especies nativas de peces de agua dulce y organismos marinos de importancia comercial, con énfasis en la conservación de especies.	María Elena Márquez Fernández	Medellín

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Ocho grupos que a pesar de no tener en sus objetivos identificada la parte marina, se cree que pueden estar haciendo ciencias del mar, en esos tenemos: Recursos Hidrológicos, Ecología y Contaminación acuática de la Sede Palmira, Fisiología de Peces, Biodiversidad y Acuicultura, Acuática: Investigación en Toxicología Acuática y Ambiental, y Geofísica de la Sede Bogotá. Estado y Sociedad del Caribe, de la Sede La Paz; Nación, Región y Relaciones Internacionales en el Caribe y América Latina de la Sede Caribe (Tabla 1.3).

TABLA 1.3. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN QUE REALIZAN O HAN REALIZADO ACTIVIDADES INVESTIGATIVAS EN CIENCIAS DEL MAR, PERO EN SUS OBJETIVOS O METAS NO ESTÁ EXPLÍCITA LA PARTE MARINA.

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Recursos hidrobiológicos	Contaminación acuática; uso y aprovechamiento sostenible de los recursos acuáticos; ecología de los ecosistemas acuáticos.	Ángela Inés Guzmán A.	Palmira
Ecología y contaminación acuática	Monitoreo ambiental; educación ambiental; ecotoxicología; ecología; ecología de la conservación.	Guillermo Duque N.	Palmira
Fisiología de peces	Acuicultura sostenible; aditivos funcionales y bienestar de los peces; fisiología endocrina y metabólica; producción de peces ornamentales; fisiología del estrés en peces teleósteos; fisiología de la reproducción de teleósteos.	Miguel Angel Landines P.	Bogotá
Estado y sociedad del Caribe	Educación intercultural; feminismo y movimiento de mujeres en el Caribe; género, raza y clase en los cambios geopolíticos del Caribe; organización y ordenamiento territorial; procesos y movimientos sociales en el Caribe; pedagogía del inglés; sustentabilidad ambiental en el Caribe.	Yusmidia Solano S.	La Paz

NOMBRE GRUPO	OBJETIVOS	DIRECTOR	SEDE
Biodiversidad y acuicultura	Evaluación de ingredientes; nutrición de peces; peces nativos.	Luis Gabriel Quintero P.	Bogotá
Nación, región y relaciones internacionales en el Caribe y América Latina	Relaciones internacionales y seguridad fronteriza en el Caribe y América Latina; memoria e imaginarios sociales regionales en la formación de las naciones en el Caribe y América Latina; conflictos y configuraciones sociales en el Caribe y América Latina; nación, región y élites locales en el Caribe y América Latina; educación y ciudadanía en América Latina y el Caribe; economías rurales y urbanas en los procesos de desarrollo regional en el Caribe y América Latina; desarrollos urbanos y de ciudades en el Caribe y América Latina.	Raúl Román Romero	Caribe
Aquática: Investigación en toxicología acuática y ambiental	Calidad del agua; efecto de contaminantes en sistemas de producción acuícola y de especies terrestres; impacto de agentes tóxicos sobre poblaciones silvestres de peces y otros vertebrados; medicina de peces.	Jaime Fernando González M.	Bogotá
Geofísica	Cuantificación y modelamiento de fenómenos del subsuelo, el suelo, la atmósfera y el espacio.	Carlos Alberto Vargas	Bogotá

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La extensión

La Universidad siempre ha estado pendiente del proceso de comunicar los avances que la institución genere en Ciencias del Mar. En el 2002 con la coordinación de la Vicerrectoría General se organizó en Bogotá el primer seminario sobre el Mundo Marino, en el que se comunicaron resultados de la investigación que venían desarrollando distintos profesores de la Universidad Nacional. En ese evento se propuso por parte de la Vicerrectoría Generar la creación de la Red del Mundo Marino

que ahora llamamos REMAR - UN quedando consolidada su creación en el documento publicado sobre el evento. Allí, se dieron las bases para la creación de los seminarios de las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia con el objetivo de fomentar la divulgación y el intercambio académico entre profesores y estudiantes de la Universidad que realizan las actividades investigativas en ciencias del mar.

En el 2009 con el apoyo del director de la Sede Caribe, se asumió el compromiso de activar tanto los seminarios como la red, y en diciembre de ese año se realizó el primer seminario del CECIMAR, “Las Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia”. Este evento se realiza periódicamente, coordinado desde el CECIMAR. A la fecha se han realizado siete eventos en diferentes sedes, empezando por la Sede San Andrés en el 2009, continuando en Santa Marta (que aunque no es una sede, es un punto clave de la Ciencia del Mar en la Universidad Nacional de Colombia) en el 2011, en Tumaco en el 2012, en Bogotá en el 2014, en Palmira en el 2016, en el 2017 volvimos a San Andrés para los 20 años de creación de la Sede y en el 2019 lo realizamos en Bogotá, esto por la conmemoración de los 40 años de inicio de la maestría en Biología Marina.

Como producto de estos eventos se han publicado varios libros que incluyen presentaciones que se han realizado en los seminarios. El primero, el “Mundo marino de Colombia: Investigación y desarrollo de territorios olvidados” publicado directamente por la vicerrectoría general de esa época en el 2002, en el que se reunieron los trabajos que se presentaron en este primer evento. Al año siguiente en vista que el Seminario de Ciencias del Mar no presentaba avances, en reunión con el vicerrector se le propuso al INVEMAR reactivar el seminario. Se logró reactivarlo en el 2003 en Santa Marta, el actual SENALMAR (nombre con el que bautizó en la reactivación) se publicó el libro “*Contribuciones en ciencias del mar en Colombia, Investigación y desarrollo de territorios pro-*

misorios”. Posteriormente, producto de los seminarios “*Las ciencias del mar en la Universidad Nacional de Colombia*”, se han editado las siguientes publicaciones: 1. “*Cuadernos del Caribe número 14*” para fortalecer las publicaciones de la Sede Caribe en el 2011. 2. “*Contribuciones en Ciencias del Mar en la Universidad Nacional de Colombia*” en el 2016. 3. “*Ciencias del mar una mirada desde la Universidad Nacional de Colombia*” publicado en el 2019.

UN PLANETA UN OCÉANO

CAPÍTULO 2



DÉCADA DE LOS OCÉANOS: RETOS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

► César Toro

Secretario IOCaribe

c.toro@toromarine.com

Introducción

La Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, es el único organismo de las Naciones Unidas responsable de fomentar las ciencias y servicios oceánicos a nivel mundial. La COI es una organización que tiene 150 estados miembros que trabajan juntos en la protección de la salud de nuestro océano mediante la coordinación de programas de observación oceánica, mitigación de riesgos, alertas de tsunami y planificación espacial marina; y es una plataforma de ciencias oceánicas para el intercambio de observaciones, datos y otras organizaciones y agencias de las Naciones Unidas para este intercambio. La prioridad de la COI es ayudar a sus estados miembros en el desarrollo de las capacidades científicas e institucionales necesarias para alcanzar el objetivo 14 del desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, que busca la conservación y el uso sostenible de los océanos y los recursos marinos para el 2030.

La COI es un ente de las Naciones Unidas, en la que los países desarrollan un foro sobre las políticas para el desarrollo de las ciencias.

La década de los océanos

¿Qué es la Década de las Naciones Unidas sobre la Ciencia del Océano para el desarrollo sostenible? El 5 de diciembre del 2017, la Asamblea General de Naciones Unidas proclamó el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el desarrollo sostenible 2021 - 2030 y la gran importancia de esta proclama, es un decenio de las Naciones Unidas en el que todos los estados están interesados en desarrollar y utilizar las ciencias oceánicas como el pilar para el desarrollo sostenible. Por lo tanto, en diciembre del 2017 se proclamó la Década y el primero de enero de 2021 comenzó. A nivel de Naciones Unidas existe una serie de instrumentos que permiten también utilizar esta proclama dentro de los marcos de convenios para alcanzar el desarrollo sostenible; dentro de estos tenemos los objetivos de: diversidad biológica o Aichi, la ley del mar o la CONMEVAR, también el programa de acción de los estados insulares o SAMOA, el marco de SENDAI, el acuerdo de París y así una serie de acuerdos en el decenio o la Década de las ciencias del océano, que nos permiten hacer un marco global que garantizará que las ciencias del océano pueden ayudar a los gobiernos y a las sociedades a alcanzar los principales objetivos de nuestra generación.

La Década es esa única oportunidad que tenemos para hacer un cambio y una transformación fundamental en la manera como nuestra sociedad se desarrolla y será el pilar para la transformación a una nueva civilización.

¿Por qué necesitamos de la Década de la Ciencia del Océano para el desarrollo sostenible?, Lo primero entonces, es que la Década es un marco para apoyar los esfuerzos necesarios para revertir el ciclo de declive en la salud de los océanos y crear mejores condiciones para el desarrollo sostenible, se tiene una serie de razones para lograrlo: la contaminación marina, la acidificación del océano, la importancia en la regulación del clima, la necesidad de la alimentación y la proteína,

entre otros. Entonces la Década es un marco global para apoyar los esfuerzos que nos permitirán revertir este ciclo de declive. La Década va a servir, por ejemplo, como un marco global de investigación, de inversión colectiva para cerrar las brechas de conocimiento, asumir los retos que tenemos para mantener las condiciones y el ser humano pueda continuar habitando el planeta. Es necesario hacer una transformación en la manera como estamos viviendo y utilizando el planeta y uno de los elementos principales para el cambio son las ciencias del océano. Se observa, por ejemplo, que tan solo tres personas han explorado las zonas más profundas del océano, la fosa de las Marianas, mientras que a la luna han viajado veinticuatro personas de las cuales doce alunizaron. De las áreas marinas habitables, no conocemos su biodiversidad ni tenemos un conocimiento claro sobre el 99% de estas áreas, necesario para un buen manejo. Se cree que más de un millón de especies marinas potencialmente están presentes en el océano y que las desconocemos. Solamente el 5% del fondo marino ha sido mapeado, es decir se conoce el contorno del fondo del océano, mientras que de la luna se tiene un mapa bien definido, al igual que de Venus y de Marte. De los océanos solo conocemos el 5% de más de 103 millones de millas cuadradas que están en la oscuridad absoluta, y desconocemos completamente su biodiversidad y las condiciones ambientales de esa zona.

En el primer informe que se hizo hace unos cinco años en la COI, en el reporte global de ciencias del océano, se utilizó la métrica que se puede observar en la Figura 2.1 en la que se relaciona el tamaño de los países con el número de publicaciones en revistas evaluadas por pares como medida de la producción científica. Se observa que esta producción está dominada por Norte América y Europa, mientras que la contribución de Latino América, incluyendo a Colombia es modesta. El gran ausente es África que prácticamente no aparece en el mapa. Para evaluar la capacidad de América en crear una masa crítica en ciencias del océano, se hizo un ejercicio en el que se revisaron las ofertas de licencia

o carreras de pregrado, maestrías y doctorados por países y se logró observar que las ciencias del océano tienen un gran potencial de formación en toda América. Al analizar las ofertas de pregrado, maestrías y doctorados existentes en Latino América y el Caribe, se observa que más del 60% se localiza en cinco países; Brasil, México, Chile, Argentina y Colombia. Se tienen países con la oferta de un solo curso, una sola maestría o un solo pregrado. Esto muestra que hay un gran potencial de formación en ciencias del océano en la región, sin embargo, el acceso a esta ciencia tiene una asimetría, lo que conduce a la importancia dentro de la Década, de realizar alianzas y asociaciones con las redes institucionales, de expertos y profesionales en las ciencias, no solamente en las del océano, si no que esa transformación se logrará cuando se reúnan las otras ciencias, en particular con las Ciencias Sociales.

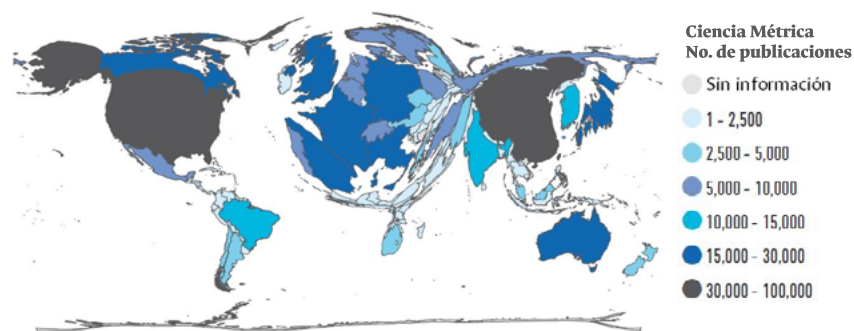


FIGURA 2.1. Mapa de publicaciones y citas alrededor del mundo. El área de cada país viene dada según el número de publicaciones o citas de ciencias del océano.

FUENTE: UNESCO (2017).

Otro elemento importante para que las ciencias del océano sean un elemento transformador especialmente en la era pos COVID-19, es por ejemplo, la importancia de la economía en el Gran Caribe; en este ejemplo del Banco Mundial (Figura 2.2), se muestra la economía del mercado oceánica o marino del Gran Caribe y el 76% de esta economía, en el 2012 muestra que el transporte marítimo alcanzó 407 millardos, el segundo rubro es el turismo, el tercero es el petróleo y gas, cuarto

las pesquerías y finalmente la acuicultura. Si en los 407 millardos no se incluye el valor de los bienes y servicios de los ecosistemas marinos. Solamente en las actividades de mercado tenemos un gran aporte de la economía del océano para la región y se debe reconocer la importancia de centrarnos en que no es “la ciencia por el amor a la ciencia”, sino la ciencia al servicio del desarrollo sostenible y al servicio de la transformación de la sociedad la que debemos desarrollar. Por ejemplo, en el caso del turismo, como se sabe, los estados insulares del Gran Caribe y varios de los países grandes de esta cuenca, tienen el turismo como uno de los grandes rubros dentro del producto interno bruto, que en promedio es el 37%, aunque para algunos de estos estados insulares su PIB puede llegar a depender en 90% del turismo, lo cual les hace altamente vulnerables.

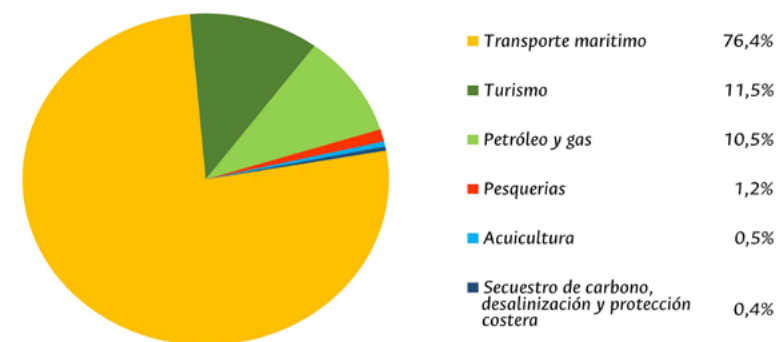


FIGURA 2.2. Economía del océano del Caribe en 2021.

FUENTE: PARK Y KILDOW (2014).

La Década de los océanos de las Naciones Unidas se ha propuesto alcanzar una serie de objetivos, resultados y metas de sociedad que se resumen en siete: el primero es alcanzar un océano limpio, segundo un océano saludable y resiliente, tercero un océano predecible, cuarto un océano seguro, quinto un océano sostenible y productivo, sexto un océano transparente y accesible. Por último, en el 2020, durante las dis-

cusiones y el análisis realizado por el grupo de planeación de la Década, consideraron que para que la Década sea un elemento transformador se necesitaba un séptimo elemento, un océano inspirador y cautivador, es decir, que haya una comprensión por parte de la sociedad sobre los valores y las funciones de los diferentes sistemas del océano y su relación con el bienestar humano y el desarrollo sostenible.

La visión de la Década de los océanos es desarrollar conocimiento científico, construir infraestructura y fomentar asociaciones y alianzas para un océano sostenible y saludable, se debe resaltar las asociaciones y alianzas, teniendo en cuenta que ningún país solo o ninguna institución sola, puede hacer frente a los retos que tenemos en este momento en nuestra sociedad, y para que la ciencia sea el mecanismo y la herramienta para esa transformación, es necesario crear esas alianzas y asociaciones. Una Década para transformar los sistemas de conocimiento, para apoyar el desarrollo sostenible y dentro de eso, podemos hablar de la cartografía completa del lecho marino, desarrollar productos de ciencia para la industria marítima y fomentar un mejor intercambio de datos e información. Asimismo, utilizar el ADN ambiental (más conocido como eDNA por sus siglas en inglés) para comprender las riquezas de la biodiversidad marina.

Es una Década para medir los impactos acumulativos, para soluciones efectivas, por lo tanto, es necesario programar actividades potenciales enfocadas a la evaluación de la productividad oceánica, estudio de la biodiversidad, diseño e implementación de herramientas y modelos de manejo ecosistémico, programas de investigación y el uso de información satelital.

Esta Década es para reducir la vulnerabilidad del océano, los peligros y amenazas costeras, los impactos de los últimos huracanes es un hecho que se ha intensificado en las últimas décadas, las ciencias tie-

nen que dar respuesta para mitigar y reducir la vulnerabilidad a estas amenazas. Las entidades potenciales a las cuales se puede contribuir para mejorar, son las responsables de las alertas tempranas de los impactos de los fenómenos costeros, una mejor cartografía de las áreas de riesgo y una herramienta que facilite las predicciones del cambio del nivel del mar y sus impactos costeros, y esta década también es para reforzar la observación de los océanos y los sistemas de datos.

Dentro de las actividades potenciales que la Década busca en este caso, es desarrollar un sistema mundial de observación de los océanos para las principales cuencas oceánicas, liderado por la COI de la UNESCO con el Global Ocean Observation System – GOOS, por su sigla en inglés. Igualmente, es importante mantener un sistema continuo de observación del océano profundo y dentro de éste, uno de los elementos importantes de la observación y la información, es el acceso abierto a los datos, pilar fundamental del avance en la investigación, así como también es importante en este caso, una métrica de las ciencias sociales.

Esta Década también busca acelerar la transferencia de conocimiento para el fomento de la ciencia y la tecnología marina, y así lograr un mejor desarrollo de capacidades y una educación óptima, es una Década para entregar un mejor conocimiento que debe estar disponible para los tomadores de decisiones. La ciencia y por lo tanto el conocimiento, es importante si forma parte de ese ciclo de políticas, es un pilar, por lo que es relevante que su objetivo sea proveer conocimiento nuevo para la correcta toma de decisiones. De acuerdo con las áreas prioritarias de investigación y desarrollo dentro de la Década, es importante hacer un inventario de sistemas, de su funcionamiento, fortaleciendo las capacidades así como acelerar la transferencia de tecnología y la cultura oceánica.

Uno de los aspectos clave en la Década de los océanos es por supuesto, la planificación espacial marina y la economía azul o economía oceánica

sostenible; la administración y adaptación de la zona costera, las pesquerías y la planificación y desarrollo de las capacidades regionales y nacionales.

Dentro de los principios clave del diseño de la Década es que va a ser inclusiva y transformadora, en donde las diferentes partes interesadas y diferentes comunidades se unan a la comunidad científica, como también el sector privado, la industria, los políticos, los tomadores de decisiones, los profesionales, la sociedad civil y los donantes en un proceso bidireccional impulsado a nivel regional para poder alcanzar los objetivos de la Década.

Es importante poder trabajar desde lo regional, teniendo como pilar el desarrollo nacional, por lo tanto, la Década de los océanos es un marco de cooperación para la ciencia del océano, accesibilidad a los diferentes componentes para poder utilizar la ciencia al servicio de este desarrollo sostenible. En el proceso de organización de la Década se realizó una serie de talleres regionales en los que se definieron los intereses de las regiones. En el caso de Latinoamérica y del Caribe, se realizaron tres talleres en los que se destacaron las grandes áreas de interés común en Latinoamérica en ciencias del océano y las grandes necesidades que tienen estas regiones y cómo utilizar la ciencia de los océanos para su transformación y su desarrollo sostenible. El primero en Ecuador para el Pacífico sudeste en septiembre del año 2019, en Brasil para el Atlántico sur en noviembre del 2019 y finalmente, en México en abril del 2020 para la región del océano Atlántico tropical occidental. Estos talleres nutrieron el plan de implementación de la Década y les dieron forma y voz a los intereses de las regiones.

En el caso concreto del océano Atlántico tropical, el taller tuvo como objetivo hacer una consulta regional para facilitar el diálogo entre expertos y partes interesadas, y así definir las prioridades científicas de la región del Atlántico tropical occidental y cómo éstas se reflejarán

en el proceso global de la Década de las Naciones Unidas. En el taller se presentaron una serie de recomendaciones que se resumieron en las siguientes grandes acciones: lo primero se relaciona con un océano limpio, es importante para alcanzarlo en la región, una mejor comprensión del flujo y de los impactos de todos los contaminantes en el Atlántico tropical occidental a través de un programa de investigación, análisis y recopilación de datos armonizado en toda la región; segundo, para lograr un océano sano y resiliente en la región, se recomendó desarrollar la capacidad para comprender, cartografiar y proteger los ecosistemas y servicios marinos y costeros a escala regional, a través de estrategias basadas en la ciencia para gestionar los factores de estrés marino, incluidas las actividades humanas a múltiples escalas y el papel del océano en un clima cambiante; tercero, en relación a un océano productivo, se recomendó desarrollar e implementar un enfoque de investigación transfronterizo, multidisciplinario e intersectorial que involucre la ciencia y la tecnología, los proveedores de servicio, el sector privado, los responsables de la formulación de políticas y la sociedad para la sostenibilidad de la pesca y los servicios de los ecosistemas marinos para los medios de vida, el desarrollo económico y social; cuarto, en el caso de un océano predecible, se recomendó mantener las observaciones de alta calidad a largo plazo de los entornos marinos y costeros, incluidas observaciones sobre las interacciones humanas y ofrecer herramientas de predicción y apoyo para toma de decisiones; quinto, en el caso de un océano seguro, se recomendó desarrollar o se definió como prioridad y necesidad, desarrollar un sistema regional de pronósticos y datos oceánicos de amenazas múltiples vinculado a acciones de educación, divulgación, preparación y comunicación que empoderen y reconozcan las políticas y la toma de decisiones nacionales y locales y la respuesta individual; sexto, en el caso de un océano accesible, se recomienda la necesidad de una capacidad para un sistema de acceso a la información, para intercambio de datos y la interoperabilidad disponible al público para productos y servicios específicos, adaptados a las diferentes ne-

cesidades de las partes interesadas con una estandarización factible y mejores prácticas para la recopilación y gestión coordinada de datos que sean útiles para los responsables de las formulaciones políticas y comprensible, que se puedan entender para la comunidad en general. Por último, es importante entre los investigadores, que nos entendamos, que seamos capaces de hacer comprender los resultados de la ciencia a los tomadores de decisiones y a la comunidad en general.

En la región del Atlántico tropical occidental se presentaron unas prioridades transversales especialmente en lo que se refiere al desarrollo de capacidades. Es necesario crear e implementar una estrategia coordinada para abordar los desafíos regionales de desarrollo de capacidades, hay una asimetría en este acceso a la ciencia, por lo tanto, es necesario desarrollar la estrategia para abordar estos desafíos en todos los países y los grupos. El primer paso, por supuesto, tiene que ver con crear un inventario de los esfuerzos sostenidos y establecer un mecanismo de comunicación para facilitar el fomento de una comunidad más sólida y así buscar un mayor impacto. Otro elemento que es importante es que esta es una Década y muchos de los que estamos avanzando en la misma, necesitamos que haya una renovación de generación en las ciencias del océano, por lo tanto, la participación de profesionales jóvenes es un elemento fundamental para el desarrollo de la Década. Otro elemento importante es la importancia del saber y los conocimientos ancestrales y locales, es importante conectarnos con ese conocimiento y utilizarlo en la toma de decisiones. Cualquier propuesta o recomendación que se haga, no puede realizarse o ponerse en marcha a menos que tengamos una conexión con la sociedad, con las comunidades y también tengamos en cuenta ese saber tradicional y local.

La cultura oceánica es otro elemento importante que nos permite alcanzar precisamente, esa séptima meta, nos permite empoderar a las personas para hacer un enfoque de abajo hacia arriba y trabajar con las comunidades y transformar el conocimiento del océano en la sociedad.

Debemos tener en cuenta el sector privado y asociarnos con ellos; es necesario desarrollar una economía sostenible del océano ya que la mayoría de los de los estados insulares son grandes estados marítimos muchas veces 60 a cientos de veces más grandes en su espacio marítimo que en su espacio terrestre, de manera que hay que continuar con el enfoque hacia el turismo costero y marino y un papel más importante de la pesca.

REFERENCIAS

- PARK, K. S. Y KILDOW J. T. (2014). *Rebuilding the Classification System of the Ocean Economy*. *Journal of Ocean and Coastal Economics*, 1(4).
<https://doi.org/10.15351/2373-8456.1001>
- UNESCO. (2017). *Global Ocean Science Report - The current status of ocean science around the world*, UNESCO Publishing, Paris.



MISIÓN DE SABIOS: OCÉANOS Y RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS

► **Andrés Franco Herrera**

*Vicerrector Académico, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
andres.franco@utadeo.edu.co*

Introducción

La importancia del país frente a los científicos jóvenes y a todas las etnias que están asociadas a los sistemas marinos y costeros y la pertinencia de nuestro conocimiento del océano y del océano profundo, hace relevante tener en este momento en Colombia, un fortalecimiento muy grande en las estrategias de innovación y emprendimiento en el mar y lo fundamental que es poder entender que las ciencias marinas deben interactuar de una manera dinámica, de manera certera con otras áreas del saber.

En esta cátedra nacional llamada “Colombia Bioazul: dos mares, un país, territorios por explorar” y en esta sección que está enfocada a la visión de un planeta y nuestros océanos, es necesario hablar de la Misión Internacional de Sabios, una iniciativa del actual Gobierno Nacional, liderada por la Vicepresidencia de la República, pero también acompañada por COLCIENCIAS en su momento, hoy el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Ministerio de Educación Nacional, el ICETEX y una serie de instituciones de orden nacional que permitieron llevar adelante esta misión a lo largo del 2019.

Recordar que el objetivo de esta Misión (la tercera Misión de Sabios en el país), era aportar a la construcción e implementación de la política pública en tres frentes muy importantes: educación, ciencia y tecnología e innovación así como proponer estrategias a mediano y largo plazo, enfocadas a los desafíos productivos y sociales que tenemos en este momento como nación, de una manera escalable, replicable y sostenible. La Misión de Sabios tuvo ocho focos temáticos que nacieron, entre otras, de una iniciativa de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, quien da la recomendación de constituir esta Misión al Gobierno Nacional cuando éste se encontraba en la fase de gobierno electo y se definen ocho focos, que son como tal, áreas fundamentales para el desarrollo; social, económico, cultural y por qué no decirlo, ambiental del país. Esos ocho focos son: (1) las Tecnologías Convergentes, lo que hemos llamado actualmente la Industria 4.0, un foco liderado por María del Pilar Noriega; (2) el foco de Energías Sostenibles bajo la dirección del profesor Juan Benavides con una participación muy importante de dos investigadores de alto reconocimiento nacional e internacional, el profesor José Fernando Isaza y el profesor Eduardo Posada; (3) un tema que impacta fuertemente a las ciencias marinas, relacionado con Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente, foco muy relevante que tuvo la participación de personas importantes y cercanas a nosotros: Cristián Samper, Germán Poveda, la profesora Elizabeth Hodson, liderado por la actual Vicerrectora de Investigaciones de la Universidad de los Andes, la Doctora Silvia Restrepo y también con la participación de la exministra de Ciencia, Tecnología e Innovación, la Doctora Mabel Torres; (4) el área o el foco temático de Ciencias Sociales, Desarrollo Humano y Equidad que fue liderado por el profesor Clemente Forero; (5) el foco de Ciencias de la Vida y de la Salud, bajo la guía del doctor Juan Manuel Anaya, pero donde también tuvieron participación, entre otras personas, el doctor Rodolfo Llinás y el doctor Jorge Reynolds, también muy cercano al campo de las ciencias marinas; (6) un tema muy importante y de poca relevancia hasta el momento es el área de Industrias Creativas y Culturales,

el cual fue dirigido por el profesor Édgar Puentes y donde estuvieron personas muy conocidas como el maestro Carlos Jacanamijoy, la cinematógrafa Lina Rodríguez y Camila Loboguerrero; (7) las Ciencias Básicas y del Espacio, fue un foco temático liderado por el profesor Moisés Wasserman, en donde también estuvo la Profesora Emérita Carmenza Duque, e incluso aquí tuvieron la participación del Profesor Serge Haroche de Francia, Premio Nobel de Física; (8) y como era de esperarse y como lo requiere el país, coordinado por el autor del presente capítulo y en el que estuvieron personas muy cercanas a las ciencias del mar y de gran conocimiento, el profesor Juan Armando Sánchez, el doctor Jorge Reynolds, el profesor emérito Jaime Cantera, el profesor Francisco de Paula Gutiérrez, el profesor Enrique Peña, se contó también con el antropólogo y doctor Weildler Guerra del Banco de la República un estudiante de la sociología costera marina, y también con la profesora Sabrina Speich del Centro Nacional de Investigaciones de París en Francia muy asociada a temas de cambio climático, sobre todo acidificación oceánica. En conjunto, se recorrió el país de punta a punta, desde San Andrés hasta Leticia y lo que se buscaba era recoger el pensar y el sentir de las comunidades locales, de la academia, del sector productivo, alrededor de los sistemas hidrobiológicos continentales y marinos del país, e integrarlo en unas estrategias, enfocadas a una visión de Colombia como una gran potencia oceánica en estos próximos 10 o 15 años. Se adelantaron un poco más de 25 eventos para recoger el sentir y el pensar de cerca de 1.250 a 1.300 personas a lo largo y ancho del país. En este camino, además de la Vicepresidencia de la República, del Ministerio de Educación Nacional, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y del ICETEX, se tuvo un acompañamiento muy importante del INVEMAR, con quien se hizo el Gran Foro de los Océanos para el Caribe, un ejercicio maravilloso coordinado por el director de este Instituto, el Capitán Francisco Arias, con todos sus directores de programas y que permitieron hacer, entre otras, un alineamiento a lo que ya se venía pensando, construyendo alrededor de la Década de las Ciencias Oceánicas. La Universi-

dad Nacional de Colombia fue un compañero irrestricto en este proceso en todas las zonas del país donde estuvimos, en Leticia, por ejemplo, con el profesor Jhon Donato y en San Andrés Islas con la profesora Adriana Santos. Finalmente, se involucró buena parte de institutos vecinos y otra serie de universidades que dieron soporte a esta actividad. Lo que más llama la atención de la Misión de Sabios fue la apertura de una gran cantidad de focos temáticos de gran relevancia para el país, pero que tuvo su alma y corazón en las universidades y en un gran grupo de académicos y científicos (Figura 3.1).



FIGURA 3.1. Acompañamiento de Universidades y entidades estatales en el marco de los ocho focos temáticos de la Misión de Sabios.

FUENTE: COLCIENCIAS (2019).

Las universidades apadrinaron los focos temáticos, para el caso del foco en Océanos y Recursos Hidrobiológicos, estuvieron la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad del Valle, donde el profesor Enrique Peña y el profesor Jaime Cantera, fueron fundamentales en este proceso. Incluso en esta Alma Mater se adelantó el Gran Foro de los Océanos para el Pacífico y hubo tres temas que son fundamentales: el concepto de región, el concepto de la educación y en este caso, la educación en ciencias marinas, todos transversalizados por el aspecto financiero.

Reflexiones sobre el foco temático de océanos y recursos hidrobiológicos

Se presentan cinco reflexiones sobre este foco

» LA PRIMERA REFLEXIÓN

¿Por qué un foco temático para el mar en Colombia? Son muchas las razones que han confluído y hay una coyuntura que es muy importante en este momento y que se debe aprovechar. En las ciencias marinas del país, es la primera vez que un Plan de Desarrollo (2018-2022), define claramente aspectos que están más asociados con las ciencias marinas y con la actividad en el mar, en relación con la sostenibilidad: “producir conservando y conservar produciendo”; pero también está el concepto de la equidad de oportunidades, de tener en cuenta dentro del gran conjunto de grupos étnicos que tiene al país, a los raizales, por ejemplo; también está -aunque suene extraño-, que el país en un plan de desarrollo entienda claramente las regiones Pacífico, Caribe y Seaflower y que sobre todo, se entienda que el país tiene una región oceánica y que esté dentro de un plan de desarrollo.

Aparentemente es lógico, pero tiene una importancia y un valor político necesario en este momento. Se tienen los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), hay un CONPES muy claro con las metas que el país se ha fijado para el 2030 y que, si bien los océanos están asociados al ODS14 de vida submarina, hay una gran cantidad de objetivos que tienen directa relación con los océanos y las zonas costeras del país. Adicionalmente, en el 2020 se lanza el CONPES “Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030”, que es un baluarte que impulsa este foco, también una directriz clara hacia el futuro del país y hacia la posibilidad de recursos de gran cuantía para estudios de sostenibilidad, ambiente, ciencia tecnología e innovación, tal como se anunció el 26 de febrero de 2021, en la Cumbre de Gobernadores en el Meta, por parte del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, para el bienio 2021 - 2022.

La Misión de Sabios también aportó en esa transformación de COLCIENCIAS al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. De hecho, la política de Minciencias está soportada en los ocho focos temáticos que son las áreas prioritarias que el Ministerio viene desarrollando a través de sus diferentes instancias. Así mismo, apoyan el análisis y puesta en marcha del nuevo Sistema Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación. Adicionalmente, las Naciones Unidas declara la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sustentable.

En este punto y con base en las reuniones preparatorias para la declaración de la década, surgen las siguientes reflexiones, no de carácter institucional, sino de índole humano y social que a veces olvidan los científicos por estar pensando en asuntos de investigación: que el océano es la sangre de la tierra. No olviden que el cuerpo humano tiene un alto porcentaje de agua y en buena parte de los órganos vitales como corazón, riñones y pulmones, el porcentaje de agua es muy grande. Pero esa agua alberga una gran cantidad de elementos y minerales que son fundamentales en todos los procesos bioquímicos, que se distribuyen y fluyen a través de esos ríos de venas y arterias que se tienen a lo largo de todo el cuerpo. Esos ríos de sangre y de agua tienen cerca de 85 elementos de la tabla periódica que también están en el agua de mar. No es un error decir que todos los seres humanos llevan el mar en la sangre y los colombianos no son la excepción. Sin embargo, a pesar de esta condición fisiológica y de tener acceso a dos océanos, los connacionales subestiman la riqueza hídrica del territorio nacional.

Cuando se analizan los modelos de inundación del Estudio del Agua realizado por IDEAM (2015), se puede mostrar la riqueza hídrica superficial que tiene Colombia en términos de ríos, lagos, lagunas, ciénagas, entre otros, y que están, como es obvio, supremamente conectados con el Pacífico y con el Caribe (Figura 3.2). Eso respalda la idea de que el mar empieza en las montañas y en la selva y ese es el famoso

tercer océano del que se habla, el de las aguas dulces superficiales muy ricas, que sitúa a Colombia en el quinto o sexto país con mayor riqueza hídrica en el mundo.

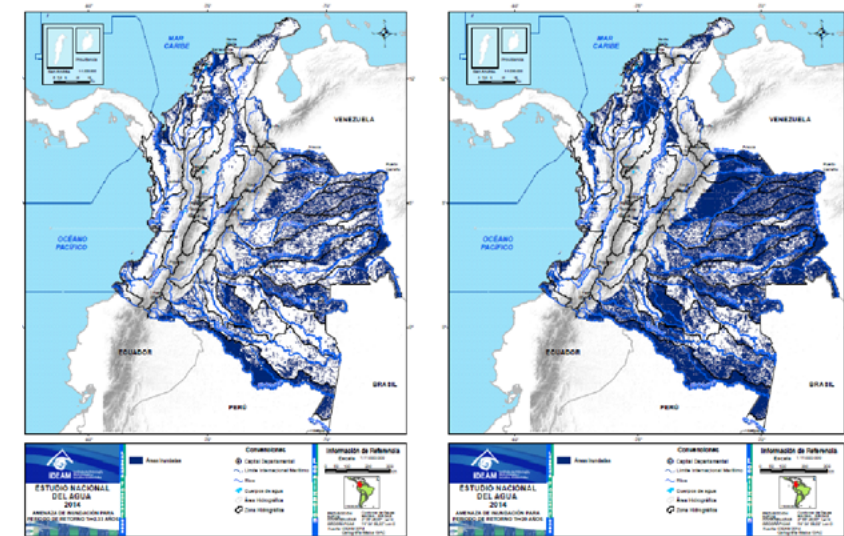


FIGURA 3.2. Modelos de inundación propuestos en el marco del Estudio Nacional del Agua.

FUENTE: IDEAM (2015).

Colombia también tiene una riqueza hídrica subterránea impresionante, como lo muestran los estudios del Rodríguez *et al.* (2010). La reserva en aguas subterráneas de Colombia es cinco veces en volumen a la que se tiene en superficie. Así, se puede asumir que Colombia realmente no es una potencia bioceánica, ni tampoco trioceánica, sino tetraoceánica. ¿Qué pasa al ser esa gran potencia de cuatro océanos?, que este es un país en el que alrededor de la riqueza fluvial y marina se han consolidado numerosas culturas, ya sea en sistemas de agua dulce, o en sistemas marinos costeros y no se puede obviar, al menos desde lo científico, que todas las actividades de investigación deben estar muy asociadas a los pueblos marinos y fluviales de Colombia. Por esa razón, de los objetivos del foco, se debe resaltar que los recursos hi-

drobiológicos y el potencial hídrico, ya sea de aguas dulces, estuarinos y marinos, debe ser uno de los principales patrimonios de la Nación. Colombia sin duda alguna tiene que entender de alguna manera, que cuando todos sean respetuosos y amigos del agua, realmente se va a lograr el tan anhelado desarrollo, incluso cultural, creativo, económico, académico y científico. Además del contexto naturalista, hay otros contextos que necesitan ser evaluados y estudiados, como lo son: los conocimientos tradicionales marítimos, las territorialidades acuáticas, la seguridad alimentaria por el mar, los conflictos del agua, la historia cultural del mar. Uno de los caminos de la Década de los Océanos es tener un océano inspirador y cautivador y eso no se consigue solamente con estudios de biodiversidad, sino con una integralidad de otros aspectos que también pueden cautivar e inspirar a muchos jóvenes científicos en el país y buscar la interacción de saberes que necesitan las ciencias marinas de Colombia, como la arqueología marina, derechos humanos en el mar, etc., estos campos hay que abrirlos en Colombia y los que están abiertos potenciarlos mucho más.

» **LA SEGUNDA REFLEXIÓN**

Si realmente Colombia quiere ser una potencia bioceánica, declarada en un CONPES con una visión muy económica, requiere de fortalecer un aspecto fundamental para el crecimiento de la sociedad: la educación. De allí nace el progreso y también la conservación. Los informes de las Pruebas Saber 11, muestran cómo los jóvenes al salir del colegio, en términos de matemáticas, geografía, física, química, biología o medio ambiente –conocimientos y competencias fundamentales para el saber de los océanos-, presentan calificaciones bajas (Figura 3.3A). Al comparar estos resultados con otros países a través de las pruebas PISA, la imagen es mucho más compleja. El puntaje promedio de la calificación de Colombia en lectura, matemáticas y en ciencias está muy por debajo de los niveles alcanzados por los países de la OECD (Figura 3.3B). Se está lejos de las competencias que se requieren en el país para abordar

aspectos tan fundamentales en todos los campos como son las ciencias y las matemáticas. No obstante, hay que indicar que se está avanzando en la formación de los escolares en los últimos 12 años (Figura 3.3C), pero aún falta mucho por mejorar.

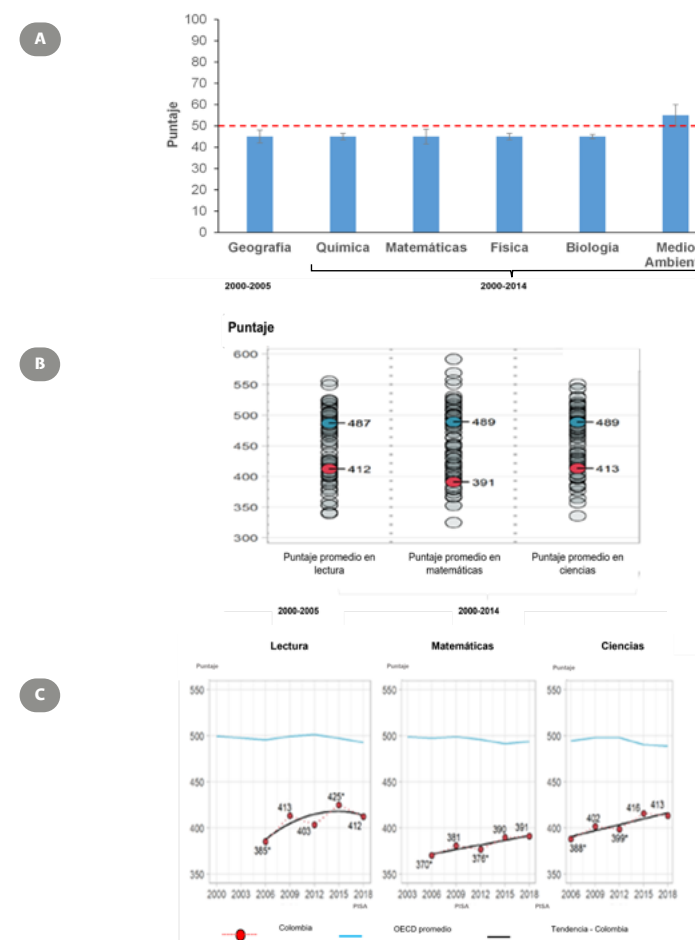


FIGURA 3.3. Calificaciones obtenidas por los estudiantes colombianos en: A. Las Pruebas Saber 11. B. Las Pruebas PISA en 2018. C. Su evolución entre 2006 y 2018.

FUENTE: ICFES (2019).

Fonseca (2016) en un estudio que hizo durante una década del 2000 al 2010, donde analizaba para todos los municipios del país: cómo la riqueza humana, la riqueza institucional y privada van de la mano, pero desconocen totalmente la riqueza intelectual y la riqueza de la naturaleza y el medioambiente. Cuando el análisis se hace a nivel departamental se muestra que al menos la riqueza intelectual es importante para ese desarrollo institucional humano y privado, pero siguen de espaldas a sus recursos naturales y ambientales (Figura 3.4). Esto es preocupante, porque aparte de que no se tienen muy buenas competencias, no se está reconociendo el valor de los recursos naturales y por esa razón se está propendiendo que el país tenga nuevos contenidos educativos basados en el conocimiento de las regiones.

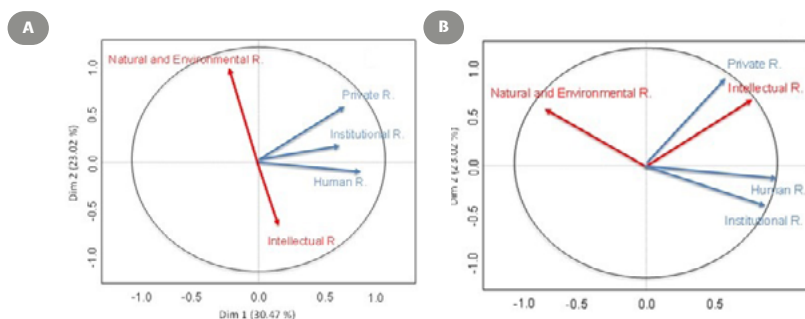


FIGURA 3.4. Análisis de Componentes Principales para: A. El Índice de Sostenibilidad Municipal de Colombia. B. El Índice de Sostenibilidad Departamental de Colombia.

FUENTE: FONSECA (2016).

El gran error que ha tenido Colombia es enseñarle de la misma manera la biología, a un niño de Riohacha que, a uno de Leticia, desconociendo su entorno ambiental, su riqueza natural, que le permite realmente apreciar, valorar y hacer un uso adecuado de sus recursos naturales. Siempre se ha dicho que sigamos enseñando la biología, la física, la matemática, pero con ejemplos, con aplicaciones creativas e innovadoras con respecto al entorno ambiental. Esta dimensión edu-

cativa es importante para lo que viene, porque se está entrando en la cuarta y quinta revolución industrial. La OECD (2019) lo dice claramente y da entre otras, indicaciones muy buenas sobre las competencias y directrices para la educación hacia el mundo digital. Aunque la sociedad se enfrente a un mundo digital, se necesita direccionar la formación hacia el humanismo, y sobre todo cuando tiene que ver con el océano y las zonas costeras.

Colombia en el contexto nacional necesita una sociedad y comunidad científica de exploradores creativos, de mucha innovación y mucho emprendimiento, pero con corazón. El Dalai Lama decía en una conferencia de derechos humanos en España en 2018: “la ciencia y la tecnología nunca van a poder reemplazar los valores espirituales de los seres humanos y siempre debemos entender que la tecnología es una herramienta, pero los cambios los tenemos que liderar las personas”. Los jóvenes son el futuro de Colombia y tienen una responsabilidad muy grande y más al día de hoy, en esta coyuntura, con lo que tiene que ver con océanos. Si la sociedad va a estar rodeada de la inteligencia artificial, se debe trabajar en idearios éticos, en todo este concepto de ecosistemas verdes sustentables del desarrollo humano, pero no olvidemos que la esencia está en ser profesionales enfocados a las ciencias marinas con una formación integral, no sólo técnica y científica, sino con valores muy profundos en el componente humanístico.

» **LA TERCERA REFLEXIÓN**

Colombia debe seguir haciendo un esfuerzo en el conocimiento de las zonas profundas de sus océanos. Un buen ejemplo de la importancia de conocer las aguas profundas se encuentra en Nueva Zelanda: este país permitió, o permitía que todo buque que transitara por su mar territorial pudiera hacer barridos con el ADCP, radares y demás equipos, y simplemente solicitaba que le entregaran la información. Un concepto práctico de ciencia abierta y datos abiertos. Esa información permitió

detectar un pedazo de la Pangea, que no se había descubierto hasta la fecha y Nueva Zelanda dejó de ser una isla para volverse un continente, Zelandia (Figura 3.5).

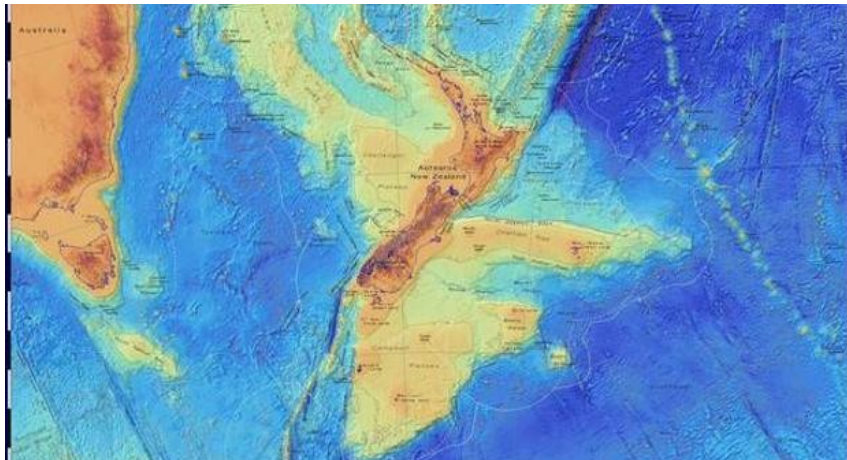


FIGURA 3.5. Continente de Zelandia (amarillo), detectado a partir de investigaciones batimétricas alrededor de Nueva Zelanda.

FUENTE: GNS SCIENCE (2021).

Colombia requiere mucho estudio del océano profundo, entidades como el INVEMAR, la misma Universidad Nacional, la Universidad del Magdalena, entre otras, contribuyen al conocimiento del mar profundo y no solamente por los litigios que se puedan tener con países Centroamericanos, si no por la importancia que va a tener el océano profundo por las riquezas de elementos como níquel, litio, cobre, que son fundamentales, entre otras, para esta era digital. Es necesario prepararse para no caer en el error de no conocer bien los mares colombianos y explotarlos de manera inadecuada. Se debe tener presente que una de las metas de la Década de los Océanos son los “Océanos Saludables” y por eso una parte de la Misión de Sabios se centró en la importancia de fortalecer la política de datos abiertos como un activo social y económico que apoye esta finalidad. Colombia ha dado pasos fuertes en esto, con el Sistema Nacional de Acceso Abierto del Conocimiento de Colombia, se tiene la Ley 1712 y un CONPES.

No se debe olvidar que la investigación que hace el país y sobre todo la que se hace con recursos públicos es de la comunidad y de la sociedad en general. Por lo tanto, el país debe propender por una estrategia sólida de mega datos públicos; ya se tiene la política, ahora debe hacerse la implementación. Hay ejemplos como el consorcio de publicaciones y blogs, el mismo Scielo que ya está en línea. Al final es bueno preguntarse quién se beneficia con compartir los datos, lo cual se puede resumir en la siguiente frase: “los científicos del futuro serán, ya que el intercambio de datos hoy permite una nueva ciencia en el mañana. Lejos de ser simples repeticiones de antiguos conjuntos de datos, la evidencia muestra que los estudios basados en análisis de datos publicados previamente, pueden lograr tanto impacto como los proyectos originales”. Un ejemplo de ellos son las vacunas actuales basadas en RNA, las cuales provienen de investigaciones que empezaron en 1980 y que tuvo que presentarse una pandemia para que se abriera el conocimiento entre muchos laboratorios y entre los que había una competencia más comercial, para tratar de buscarle solución a esta situación de crisis humanitaria que se está viviendo por el COVID-19.

» LA CUARTA REFLEXIÓN

Esta reflexión se puede llamar “la cosmovisión aborigen y tecnológica”. En Colombia está el 30% de los peces que existen desde México a Chile y a pesar de eso, la tendencia es a seguir aumentando las importaciones de pescado fresco. El DANE ha reportado que la acuicultura y la pesca son sectores pujantes y de los pocos que crecieron en el 2020. No es claro si la acuicultura que hace el país es la mejor ambientalmente, pero hay ejemplos de éxito muy importantes que hay que mencionar. México capturó e identificó once especies de peces de agua dulce, cuatro de ellas ornamentales, seis de agua marina y generó proyectos de desarrollo tecnológico importantes, a tal punto que al 2017 eran ya cerca o más de 700 granjas y producían en utilidad neta, cerca de USD 6'000.000/año. En el Amazonas en donde se han identificado cerca de 900 especies de peces, hay 200 de ellas que están inmersas en las dietas locales y cerca de 21% en peces ornamentales. Allí hay un

conocimiento muy importante, el conocimiento ancestral, que es muy valioso y sumado al conocimiento científico que se pueda aportar a ese saber, se podría generar una dualidad complementaria y fortalecer los paquetes tecnológicos en donde debe estar inmersa la comunidad para que sea la beneficiada y mejore su calidad de vida. En Colombia hay ejemplos exitosos, como el proyecto de piangua, que adelanta el INVEMAR en el Pacífico colombiano.

» **LA QUINTA REFLEXIÓN**

El agua. La Misión de Sabios determinó unos retos, unas misiones y unos programas que, para el caso del recurso hídrico, está en el marco de una Colombia Biodiversa, bajo un modelo de bioeconomía sostenible basada en la diversidad natural y cultural (Figura 3.6).

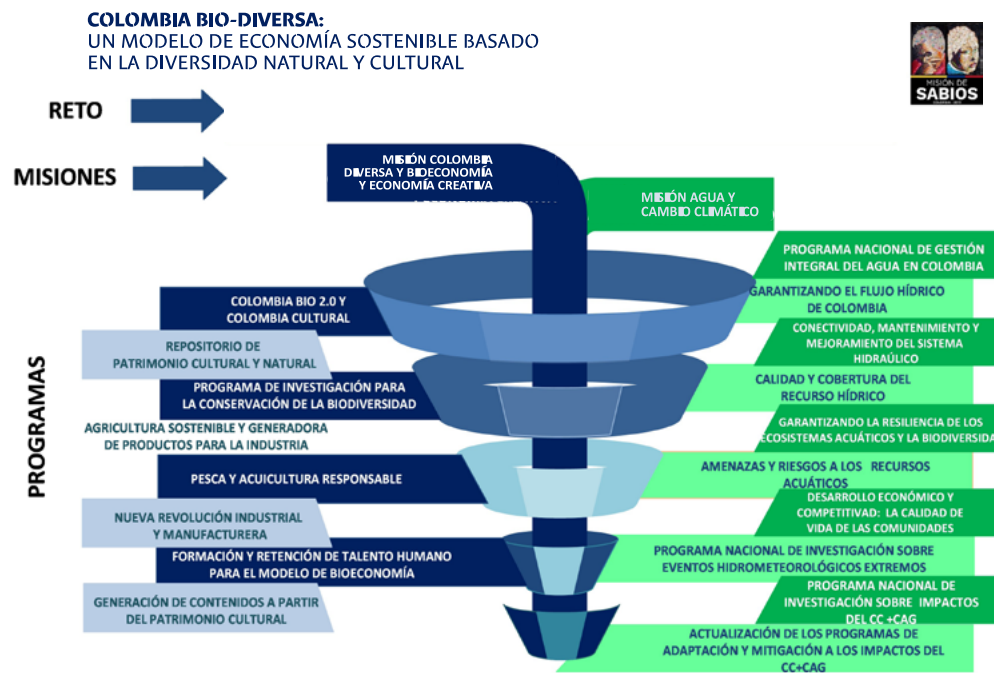


FIGURA 3.6. Misiones y programas definidas por la Misión Internacional de Sabios-2019, para el Reto "Colombia BioDiversa: un modelo de economía sostenible basado en la diversidad natural y cultural", donde el recurso agua está inmerso en diferentes programas.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La bioeconomía se va a constituir en uno de los pilares más importantes de la economía del país y se tiene que hacer bien a partir de la bioprospección, la biotecnología y demás áreas del saber. No se puede volver a repetir el caso del petróleo: se extrae este hidrocarburo, se envía al extranjero a que se procese y el país vuelve a comprar su propio petróleo más caro. Más que conocer las biomoléculas o todo el entorno que tiene la bioprospección y la biotecnología que va desde el componente molecular hasta plantas y animales, es necesario que se tenga todo el ciclo cerrado en Colombia y que realmente haya un beneficio para las comunidades locales. La proyección que se ha hecho en términos de bioeconomía y en economía naranja a 30 años, es que éstas deben representar cerca del 10% del PIB y la economía creativa un 8% en 10 o 15 años. Para ello se debe dar de forma cierta, una fuerte asociación pública y privada, esa famosa hélice de cuatro aspas (universidad - empresa - el sector público y sociedad). Sí o sí tiene que funcionar para poder apalancar los recursos necesarios para el desarrollo de la investigación que sustenta esta iniciativa, los pilotos y después el andamiaje comercial y productivo.

Esta misma hélice es muy necesaria cuando se habla del agua. Increíblemente, Colombia todavía está esperando en plena tercera década del siglo 21 que para el 2030 por fin el 100% de la población colombiana tenga acceso al agua potable y para ello se requiere de verdadero compromiso institucional público y privado.

Hay un aspecto que trabajó mucho el profesor Germán Poveda y es que Colombia, al menos al 2030 - 2050, debe estar reduciendo los riesgos socioambientales del cambio climático en un 50%. Según sus investigaciones, lograr esta meta es muy importante para que garanticemos el desarrollo sostenible y la resiliencia socio ambiental del país. ¿Cómo hacerlo? Necesariamente a los científicos les va a tocar también aprender y estar inmersos en la política pública, para convencer a las autoridades

locales, distritales y departamentales de la importancia de este aspecto para el bienestar de la sociedad.

Para cerrar, se ha planteado un piloto llamado Océanos en CASA (Cuida, Aprovecha, Sostiene y Ama). Hay una creencia firme que se deben generar estos centros para proyectos integrales de apropiación científica, social y cultural y que estos sean espacios abiertos y constituyan pilotos de alta tecnología para toda la educación básica, media, superior, donde haya aprendizaje empírico. Pueden ser importantes centros de pensamiento multicultural que lleven a fortalecer los principios de conservación y uso responsable de los recursos hidrobiológicos y que permitan construir el camino que lleve a cumplir aquella frase del doctor Ernesto Guhl, Exviceministro de Ambiente y uno de los creadores del Sistema Nacional Ambiental: “Ojalá Colombia llegue algún día a ser un país donde la ecología fije los límites de la economía y no lo contrario”.

REFERENCIAS

COLCIENCIAS. (2019). *Misión de Sabios. Colombia – 2019. Presentación en el marco de la Reunión Inicial de la Misión Internacional de Sabios. Vicepresidencia de la República de Colombia. Bogotá, D.C. febrero 19 de 2019. 17 p.*

DATA SHARING AND THE FUTURE OF SCIENCE. (2018). *Nat Commun*, 9: 2817. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05227-z>.

FONSECA, C. (2016). *Instrumentos para la paz completa y el desarrollo verdadero en el siglo XXI. Corporación Simbiosis. Universidad del Sinú.*

GNS SCIENCE. (2021). *Mapa Batimétrico de Zelandia. [Figura] Recuperado de: https://www.abc.es/ciencia/abci-revelan-nuevos-datos-sobre-fronteras-zelandia-continente-oculto-202103290123_noticia.html.*

ICFES (INSTITUTO COLOMBIANO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EDUCACIÓN). (2019). *[Figura] Recuperado de: <http://www2.icfesinteractivo.gov.co/historicos>.*

IDEAM (INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES). (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014. Bogotá, D. C. 496 p.*

OECD. (2019). *Skills Outlook 2019 – Thriving in a Digital World. Directorate for education and skills education policy committee. EDU/EDPC/RD 13.*

RODRÍGUEZ, C. O., VARGAS, N. O., JARAMILLO, O., PINEROS, A. Y CAÑAS, H. (2010). *Oferta y Uso de Agua Subterránea en Colombia. En: IDEAM. 2010. Estudio Nacional del Agua. Bogotá, D.C., 1-58.*

EL OCÉANO EN EL PLANETA

CAPÍTULO 4



EL OCÉANO COMO REGULADOR DEL CLIMA

► **Nancy Liliana Villegas Bolaños**

*Profesora titular, Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
nlvillegasb@unal.edu.co*

Introducción

El océano global es un cuerpo de agua salina que interconecta a todos los océanos, es decir, al océano Ártico localizado al norte, al océano Antártico en el sur, al océano Índico, al océano Atlántico y al océano Pacífico. Para la división de los océanos, una de las principales características es que éstos deben presentar una circulación independiente, por eso al Atlántico se le divide en norte y sur, lo mismo sucede con el Pacífico, siendo Pacífico norte y Pacífico sur. Por lo tanto, a la pregunta ¿cuántos océanos hay?, se responde que, en forma general son cinco, pero si se hacen las delimitaciones reales de los océanos, se aumentan dos a esta división. La mayor profundidad del océano mundial se localiza en la fosa de las Marianas en el Pacífico, a donde algunos investigadores han llegado con batiscafos (especie de submarinos, algunos no tripulados y otros tripulados por una persona) alcanzando entre 10.900 y 11.022 m. Por lo tanto, se puede decir que la profundidad máxima del océano es mayor que 10.000 m y su profundidad promedio es 3.700 m.

Las costas son el límite en donde interactúan todos los procesos oceánicos y terrestres. Estos incluyen a las ciudades costeras, a los deltas, estuarios, ecosistemas costeros como los bosques de manglares, entre otros. En general las zonas costeras de baja elevación, de unos 10 m sobre el nivel del mar, están densamente pobladas, así que cuando se habla del océano, se debe tener en cuenta a los seres humanos ya que también hacemos parte del océano. Algunas ciudades costeras que se encuentran por debajo de los 10 m del nivel del mar, están más expuestas a cambios extremos que puedan ocurrir en el océano y el clima.

El océano cubre el 71% de la superficie de la tierra, contiene aproximadamente el 97% del agua del planeta. El 90% de la masa biológica se encuentra en el océano, por lo tanto, el océano proporciona entre el 50 y el 80% del oxígeno del planeta mediante la fotosíntesis realizada por los organismos del fitoplancton que habitan la capa superficial, y captura entre el 30 y el 50% del CO_2 atmosférico, lo cual reduce el impacto de este gas de efecto invernadero en el clima. Sin este proceso y sin la redistribución de gases, de calor, de nutrientes de masa a través de la circulación del océano, el clima rápidamente se volvería extremo. La capacidad del océano para almacenar calor le permite redistribuirlo y regular la temperatura del planeta, por medio de las corrientes superficiales y la gran banda transportadora del océano, la circulación termohalina, que interactúan con la atmósfera logrando un balance térmico en nuestro planeta.

El océano como regulador climático

El océano es el regulador climático fundamental en todas las escalas de tiempo, desde la estacional hasta la milenaria. La superficie del océano transforma en energía calorífica a la que llega por medio de la radiación solar incidente y genera diferentes procesos dinámicos de intercambio con la atmósfera desde la micro hasta la macro escala, iniciando en las primeras capas, en la interface océano - at-

mósfera, y repercutiendo en toda la columna de agua. El calor, el agua y gases relevantes como el O_2 y el CO_2 , se intercambian en esta interface, lo cual sucede por medio de las corrientes oceánicas y por la mezcla que causan los vientos. Esa mezcla favorece el intercambio hacia afuera del océano y hacia las profundidades; las mareas también ayudan a este intercambio, al igual que la dinámica de las olas, las diferencias de densidad y la turbulencia, contribuyendo a que el calor, la masa y el impulso se redistribuyan por todo el océano mundial (Figura 4.1).

El océano está estratificado en la columna de agua, las aguas superficiales son las menos densas, y las que se encuentran por debajo, son más densas. Otra variable de estratificación, además de la densidad, es la temperatura. Cuando se habla de la estratificación de la columna de agua, la temperatura en las capas superiores es mayor y va disminuyendo a medida que aumenta la profundidad. La salinidad también aporta a la estratificación. En las primeras capas la salinidad es baja y aumenta con la profundidad. Una columna de agua es estable cuando tiene las particularidades mencionadas, por lo tanto, cualquier cambio que se presente en los parámetros temperatura, salinidad o densidad en la columna de agua, conllevará a una inestabilidad, la cual se genera por la variabilidad en las condiciones climáticas. Los seres vivos también reaccionan ante esta variabilidad, ante esta inestabilidad, iniciando desplazamientos hacia sectores en donde las condiciones para la vida sean más aceptables para ellos. Para dar a conocer cuáles son o cuál es realmente el proceso que en forma general mueve el océano, es muy importante primero recordar, cómo nuestro planeta absorbe la energía: el océano capta mucho más la energía que la misma atmósfera, ya que tiene una capacidad calorífica cuatro veces mayor que el aire.

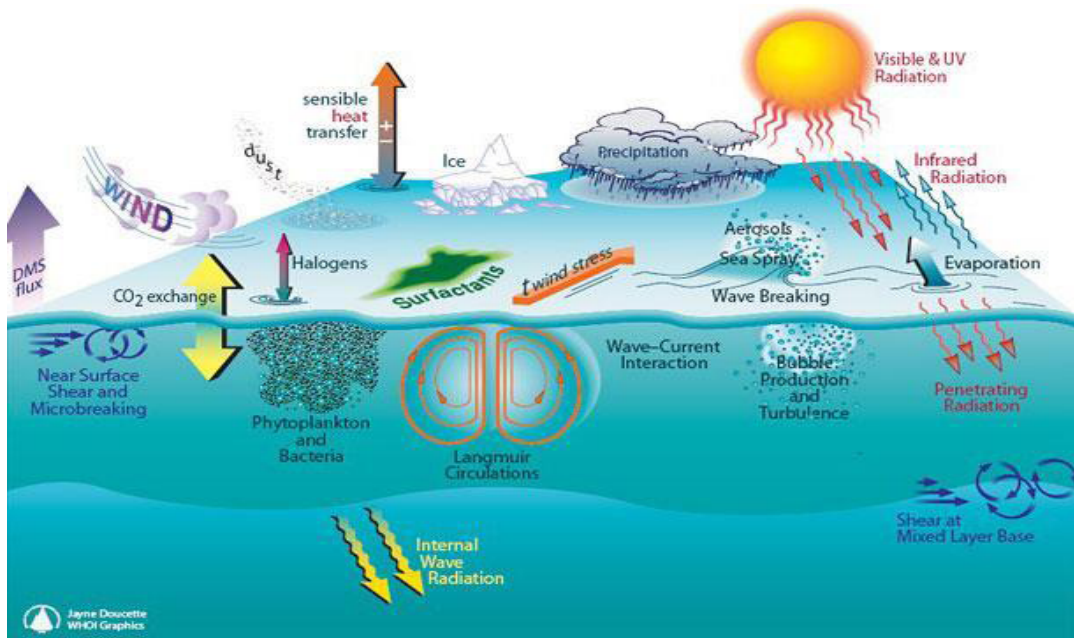


FIGURA 4.1. Procesos de interacción océano-atmósfera. Ilustración elaborada por Jayne Doucette, Woods Hole Oceanographic Institution.

FUENTE: WHOI (2021).

¿Qué mueve al océano?

En la Figura 4.2 se muestra al planeta tierra, y en amarillo se representa la forma en la que inciden los rayos solares. La fuente principal de energía del planeta es el sol, pero sus rayos inciden en la superficie terrestre en forma desigual. Esa heterogeneidad en la incidencia de los rayos solares da origen a la diferencia de presión, por lo tanto de acumulación de calor en la superficie. Se debe tener en cuenta que nuestro planeta se encuentra inclinado 23,5° con respecto a su propio eje, por lo tanto, cuando los rayos solares inciden en la superficie, sólo el sector ecuatorial los recibe en forma perpendicular, en forma intensa, además el albedo de cada superficie es diferente.

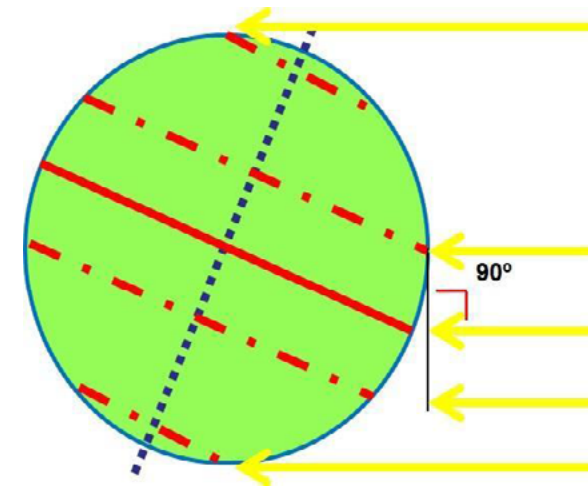


FIGURA 4.2. Heterogeneidad en la distribución de rayos solares incidentes.

FUENTE: VILLEGAS (2021A).

El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier cuerpo o superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella. El albedo promedio de la superficie de la tierra es alrededor de 30%, el hielo tiene el mayor albedo en comparación con el suelo, la vegetación o el agua. La radiación que incide en las latitudes altas se refleja de regreso al espacio debido a los casquetes polares, es así como finalmente, la cantidad e intensidad de radiación en las latitudes bajas es mucho mayor que en las latitudes altas. En el eje Y de la Figura 4.3 se tiene el flujo de calor por metro cuadrado y en el eje X las latitudes. Debe quedar claro que lo descrito para el hemisferio norte es válido para el hemisferio sur: el eje X empieza en cero seguido por 10° y 20°, lo que corresponde a las latitudes bajas, entre 30° y 40° son las medias y a partir de 60° se tienen a las latitudes altas. La línea azul representa el flujo de radiación entrante en la superficie de la Tierra y en rojo, el flujo saliente. Se observa que el flujo de calor entrante en las latitudes bajas es mayor que el flujo saliente, esto se debe a que los rayos solares llegan en forma perpendicular, inciden en forma intensa y además son

absorbidos por la superficie durante todo el año. En las latitudes altas el flujo de calor entrante es menor que el saliente.

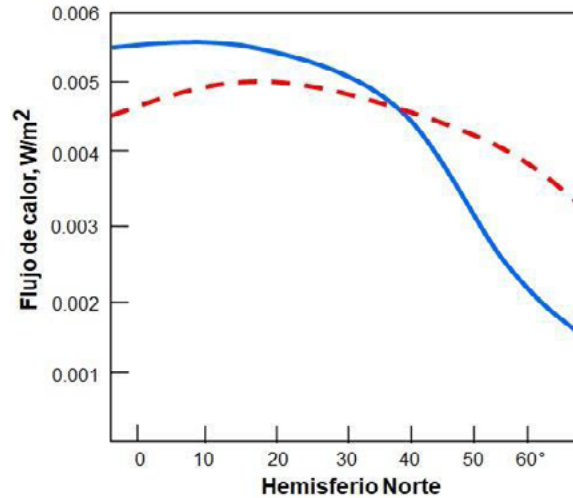


FIGURA 4.3. Variación latitudinal de los flujos de la radiación entrante (línea azul) y saliente (línea roja) en la superficie de la tierra promediados por zonas latitudinales del hemisferio norte.

FUENTE: VILLEGAS (2021A).

En los polos inciden los rayos solares prácticamente en forma tangencial, la incidencia es menor que en las latitudes bajas y lo que incide es reflejado por la superficie, debido a que el albedo del hielo y la nieve es alto. Las latitudes medias presentan flujos iguales, el flujo entrante se compensa con el saliente, además, el albedo de la superficie cambia de acuerdo con las estaciones. En los polos, el flujo de radiación saliente es mayor que el entrante, debido a que esta región debe liberar energía para calentar a las masas de aire sobre ella. Esa energía es aportada tanto por la corteza terrestre, como por las masas de aire y masas de agua que se desplazan desde las bajas latitudes en forma de vientos y corrientes marinas, respectivamente: la circulación general de la atmósfera y la circulación general del océano. Estos serían, por lo tanto, los mecanismos de transporte de energía para calentar el sector en donde se presenta bajo calentamiento con los rayos solares.

El transporte de energía llevado a cabo por la circulación general de la atmósfera, se realiza a través de tres celdas llamadas: Hadley, Ferrel y Polar, tanto en el hemisferio norte como en el sur (Figura 4.4). La región ecuatorial es la que obtiene la mayor incidencia de rayos solares y es la superficie donde se localiza gran parte del océano mundial. Estos dos aspectos hacen en primer lugar, que la gran cantidad de rayos solares incidentes puedan ser utilizados por el océano y, en segundo lugar, que éste acumule abundante energía dada su alta capacidad calorífica. La gran cantidad de energía que logra acumular el océano, es utilizada para formar vapor de agua que sube hacia las masas de aire localizadas sobre él. Esa cantidad de vapor y de energía son el motor que genera a su vez a las celdas de circulación atmosférica. Con la celda de Hadley, las masas de aire cálido (flechas anaranjadas en la Figura 4.4) que están encima del sector ecuatorial cargadas de vapor de agua, empiezan a ascender por la tropósfera (que es la primera capa de la atmósfera), moviéndose verticalmente hasta llegar al tope de la misma, llamado tropopausa, y desde allí se dirigen hacia las latitudes 30°norte y 30°sur.

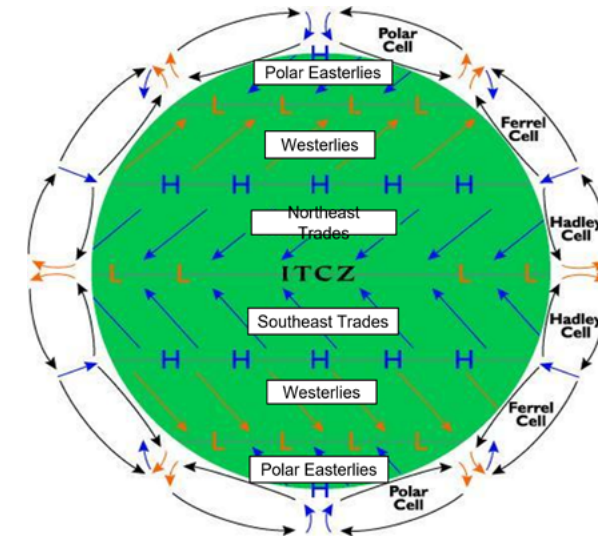


FIGURA 4.4. Circulación general de la atmósfera. William Ferrel, 1856. (Pennsylvania, USA. 1817-1891).

FUENTE: GEOSITES (2009).

A medida que las masas de aire cálido ascienden, se enfrían, y como tienen vapor, se condensa, e inicia la formación de nubes. Entre mayor cantidad de vapor tengan, habrá más vapor de agua condensado y empezarán las precipitaciones. Cuando alcanzan los 30° norte y 30° sur, las masas de aire están ya descargadas de vapor, están secas y frías, esto hace que por su peso empiecen a descender de forma rápida hacia la superficie, en donde generan un movimiento de masas de aire hacia el ecuador geográfico, conocido como los vientos Alisios del noreste y del sureste. Cuando convergen en el Ecuador, estas masas de aire nuevamente por convención se elevan generando una presión baja en la región denominada Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), cerrando así a la celda de Hadley. La ZCIT es un proceso de interacción mar-aire muy importante para el clima no solo del trópico, sino de todo el planeta. La ZCIT se desplaza de norte a sur buscando la Temperatura Superficial del Mar (TSM) más cálida del momento, o sea en el verano en el hemisferio norte y, en el invierno en el hemisferio sur. Entonces la ZCIT para seguir teniendo energía, se desplaza de norte a sur durante el año y mientras lo hace, lleva consigo alta nubosidad y gran cantidad de precipitación por donde pasa. Por esta razón en Colombia se presentan dos épocas de lluvia: una en marzo y otra en octubre, cuando la ZCIT se encuentra sobre Colombia, mientras se desplaza hacia el norte y otra vez retorna al sur, buscando la mayor TSM.

La celda Polar se localiza en cada uno de los dos hemisferios desde los 90° hasta los 60° latitud norte y sur, respectivamente (Figura 4.4). En la tropopausa a los 90°, las masas de aire son frías y secas, por lo tanto descenden rápidamente hacia la superficie, generando presión alta. Al llegar a la superficie, estas masas de aire crean a los vientos polares, los cuales son vientos fríos, y se desplazan por la superficie desde los 90° hasta los 60°, donde se encuentran con otras masas de aire conocidas como vientos del oeste que vienen desde los 30° hasta los 60°. Cuando los vientos polares y los del oeste se encuentran,

provocan un ascenso llamado frente polar, proceso acompañado de nubosidad y precipitación: si está en invierno será en forma de nieve, si está en verano en forma de lluvia. Al ascender, llegan a la tropopausa, donde parte de las masas de aire se dirigen a los 90°, el proceso se repite, y se cierra la celda polar.

En entre los 30° y 60° de latitud en los dos hemisferios, se localiza la celda de Ferrel. Como se mencionó, cuando los vientos superficiales del oeste, relativamente cálidos, se encuentran con los vientos polares fríos a los 60° norte y 60° sur, se presenta un ascenso, y se dirigen hacia la tropopausa, donde una parte de las masas de aire se desplazan a los 90° (norte y sur respectivamente), pero otra hacia los 30° norte y 30° sur. Al llegar a los 30°, las masas de aire descenden nuevamente hacia la superficie terrestre, donde forman parte de la celda de Hadley, generando a los vientos Alisios del noreste y vientos Alisios del sureste, cerrando así la celda. Esta celda de Ferrel es bastante inestable, hay momentos en los que presenta mayor fuerza en los 60°, y otros en los 30°. En resumen, en la circulación general de la atmósfera existe la ZCIT que es muy importante para el clima del planeta, donde se presentan presiones bajas en la región ecuatorial; luego se tiene un cinturón de altas presiones a los 30° en ambas latitudes, también muy importantes porque generan a los vientos Alisios; seguidamente se tiene al frente polar con presiones bajas a los 60° en ambas latitudes y, por último, en los polos a los 90° se presentan nuevamente presiones altas. La distribución de calor se hace posible con la circulación general de la atmósfera, que comprende los movimientos de las tres celdas. Los movimientos son verticales cuando las masas de aire ascienden y descenden por la tropósfera, y horizontales al desplazarse en superficie, donde toman los nombres de vientos Alisios del noreste y del sureste entre los 30° y 0°, vientos del oeste entre 30° y 60° y vientos del este o polares entre 60° y 90°.

¿Cómo se mueve el océano?

Basados en el conocimiento sobre la incidencia de los rayos solares y la distribución del calor por medio de la circulación general de la atmósfera, se podría decir que el comportamiento del clima es fácilmente comprensible. Sin embargo, no es así porque hay un factor importante a tener en cuenta en el comportamiento del clima y es el vapor de agua. Para que existan los movimientos verticales y horizontales descritos, se requiere del aire cálido con vapor, siendo en conjunto el motor que acciona a las celdas. El vapor proviene de la superficie terrestre, conformada en un 71% por el océano que, además, acumula gran cantidad de calor, más que la misma atmósfera, haciendo que el océano sea de suprema importancia para la regulación del clima a través de sus movimientos. Con la circulación oceánica el transporte de calor se realiza, ya no sólo hacia los continentes y la atmósfera, sino también hacia las profundidades de los océanos. En la Figura 4.5 se representan los circuitos y corrientes superficiales. En la parte derecha de arriba, se observa que el movimiento horizontal en superficie de la circulación atmosférica presenta un sentido similar al de las corrientes oceánicas superficiales (flechas en el mapa de abajo). Las flechas de color rojo (color azul), representan a las corrientes de temperatura mayor (menor) que la del medio por donde se desplazan. Las rojas se denomina corrientes cálidas, y las azules, son las corrientes frías. Las corrientes cálidas distribuyen el calor desplazándose desde el Ecuador (bajas latitudes) hacia las latitudes altas, y las de color azul o corrientes frías, se desplazan en sentido contrario, es decir desde latitudes altas regulan el calor hacia las latitudes bajas. También hay corrientes llamadas mixtas, las cuales, por su origen pueden ser frías, pero, al desplazarse de un lugar a otro, intercambian calor variando su temperatura inicial con respecto a la del nuevo medio en el que se encuentran.

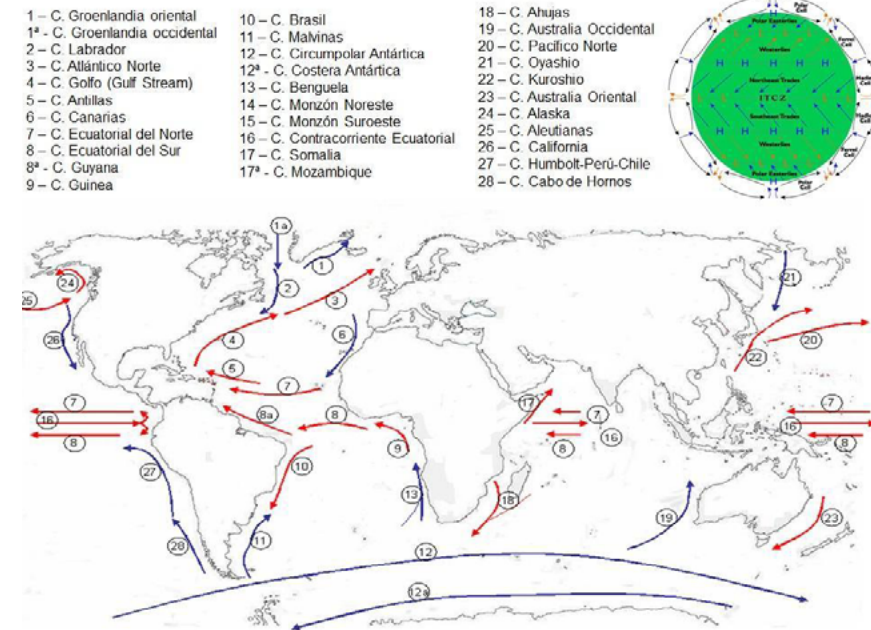


FIGURA 4.5. Circuitos y corrientes superficiales.

FUENTE: VILLEGAS (2021B).

En la región ecuatorial (Figura 4.5), hay corrientes (números 7 y 8) que se encuentran en la parte central y fluyen al oeste, se llaman corriente Ecuatorial del Norte (número 7) y corriente Ecuatorial del Sur (número 8). Estas corrientes, que son generadas por los vientos Alisios del noreste y del sureste respectivamente, inician su movimiento oeste, pero son desviadas por el efecto de Coriolis, el cual hace que, a partir del desplazamiento inicial, se produzca un giro hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur y, finalmente son modificadas por los continentes.

En el sector ecuatorial, las corrientes Ecuatorial del Norte y Ecuatorial del Sur al desplazarse hacia el oeste, hacen que se acumule agua cálida en los respectivos océanos, en las costa este de cada continente. Seguidamente, por balance de masa, el agua acumulada se devuelve hacia el este

y forma la Contracorriente Ecuatorial, que se ramifica y crea corrientes locales en cada uno de los sectores con las aguas cálidas transportadas.

A los 30° norte y sur, en donde la presión atmosférica es alta, se generan circuitos oceánicos, los giros subtropicales, que ocupan en cada océano un área entre los 30° y 45° de latitud con un movimiento opuesto a la rotación de la tierra en el hemisferio norte (sentido de las manecillas del reloj o anticiclónico) y contrario en el sur. Los giros subtropicales inician con una corriente fría, que se genera a los 30° por efecto de la presión alta de la celda de Hadley (Figura 4.5). Las corrientes frías se forman porque las presiones altas, en forma de vientos Alisios, en el momento en que ejercen fuerza desde las respectivas costas, desplazan a las masas de agua superficiales cálidas hacia el otro lado del océano, y dejando un espacio que es compensado con agua del fondo fría y rica en nutrientes que asciende y genera a las zonas costeras de surgencia. Estos movimientos verticales de agua ascendente se relacionan también con aguas que recirculan por la termoclina, la cual es una capa de la columna de agua, donde los gradientes verticales de temperatura son significativos. Existen cinco zonas costeras de surgencia, cada una de ellas se localiza al este de los giros subtropicales. En el Atlántico norte, se encuentra la surgencia de las Canarias, en el Atlántico sur la de Benguela, en el Índico está la surgencia occidental de Australia, en el Pacífico norte la de California, y en el Pacífico sur la surgencia de Perú-Chile. Estas surgencias son a su vez corrientes superficiales frías que llevan el mismo nombre y se desplazan desde latitudes altas, donde hay menos calor, hacia las bajas, donde hay más calor.

En el límite occidental de los giros subtropicales, ubicadas al frente de las corrientes frías, se encuentran las corrientes cálidas, las cuales transportan calor desplazándose desde las latitudes bajas (donde hay más calor), hacia las latitudes altas (donde hay menos calor). En el océano Índico, la corriente cálida se llama Ahujas, en el Pacífico norte

está la intensa corriente Kuroshio, en el Pacífico sur está la corriente de Australia oriental, en el Atlántico sur está la corriente del Brasil y en el Atlántico norte se encuentra la más intensa de todas, la corriente del Golfo, la cual es muy importante en la regulación del clima, no solamente del Atlántico norte sino de todo el mundo. Las corrientes cálidas e intensas, que se generan en el lado este de los continentes, hacen que existan climas opuestos en una misma latitud, en ciudades costeras de un mismo océano. Las corrientes cálidas llevan consigo gran cantidad de calor y vapor hacia el otro lado del océano, es decir al otro continente, haciendo que en las costas a las cuales llegan, los veranos no sean tan calurosos y secos como en las ciudades costeras de donde provienen, sino más bien suaves y frescos, al igual que los inviernos, los cuales serán menos severos. El calor y el vapor que las corrientes marinas transportan a estos sectores, permiten que haya una menor variación de temperatura y humedad en las costas a donde llegan, siendo todo lo contrario en las costas de donde provienen estas corrientes.

Los circuitos subpolares son fundamentales para la circulación de los océanos, uno se encuentra en el Ártico y otro en el Antártico. La corriente Circumpolar Antártica, que se desplaza alrededor del continente Antártico, es la más voluminosa y fría de las corrientes del planeta y se conecta con todos los océanos, tanto en la superficie, como en las profundidades, formando parte del agua que asciende en algunas zonas de surgencia.

Esto quiere decir que el océano mundial interconecta también a los ecosistemas del planeta. Por ejemplo, además de las cinco regiones marinas que presentan surgencias costeras como la de Perú-Chile que se alimenta de aguas antárticas, hay otras de menor dimensión, como es el caso de la surgencia de La Guajira en Colombia, la cual se alimenta de aguas árticas. Las surgencias, entonces, son nutridas por aguas profundas, que son parte de la circulación termohalina. Otro ejemplo de interconexión entre el océano y los ecosistemas, es el de las corrientes costeras con ecosistemas

de la plataforma continental a través de los remolinos; las mismas corrientes frías de surgencia se propagan hacia el interior del océano; y las aguas interiores se conectan desde zonas tropicales hacia zonas polares a través de la circulación profunda, que es otro tipo de circulación del océano.

El océano interconecta a todas las regiones del mundo. La conexión entre regiones que se encuentran alejadas la una de la otra, y que por su lejanía parecieran no estar ligadas de alguna manera, pero que realmente si lo están, es lo que llamamos teleconexión. La teleconexión se realiza por medio de procesos de interacción océano-atmósfera de diferentes escalas espacio temporales. Un ejemplo de procesos de gran escala es el generado en el océano Pacífico sur, conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), asociado a la ocurrencia de anomalías de TSM que repercuten en la variabilidad del clima de todas las regiones oceánicas y continentales. ENOS además causa que durante su fase positiva se inhiba la surgencia de aguas en Perú-Chile, llevando tiempos secos en algunas regiones de América del sur, y en su fase negativa, hace que la surgencia de aguas en Perú-Chile se fortalezca, generando grandes cantidades de lluvia en otros sectores. Existen varios procesos y oscilaciones que, aunque se originan en el Atlántico o en el Índico o en la Antártica, o en el Ártico, modifican la distribución de calor y vapor generando teleconexiones a diferentes escalas espaciales y temporales, que repercuten en el clima local, regional y global. El océano no sólo tiene una gran capacidad de almacenar calor, también lo distribuye, lo transporta y genera interconexión entre las diferentes regiones del mundo influyendo en el clima.

La Corriente del Golfo

La corriente del Golfo transporta gran cantidad de calor, mueve alrededor de 20 millones de metros cúbicos de agua por segundo, casi 100 veces el caudal del Amazonas. La corriente del Golfo atraviesa el océano Atlántico norte, lleva aguas cálidas desde el Golfo de México a las latitudes altas

y mientras se desplaza, se ramifica, una porción se dirige al noreste de Europa y otra hacia el océano tropical (Figura 4.6). Este flujo ya ramificado hacia el oriente, emite calor a la atmósfera calentando las tierras europeas. Cuando llega a las islas británicas, genera cambios en la temperatura de Inglaterra y Escocia, haciendo que el clima se suavice tanto en invierno como en verano. Cuando alcanza mayores latitudes, cerca de Groenlandia e Islandia, ya ha emitido tanto calor que sus aguas están frías y lógicamente se hacen más salinas, por eso se vuelven más densas y entonces, por su peso se hunden hacia la profundidad. Los puntos de hundimiento, que están delimitados con unos cuadros rojos en la Figura 4.6, son los lugares en los que el agua fría y salina desciende, o sea, donde ocurre el proceso de convección de las masas de agua.

La corriente del Golfo fue muy lenta durante la Pequeña Edad de Hielo, luego permaneció relativamente estable hasta el siglo XIX. En el 2018 se observó que la corriente del Golfo se ha desacelerado en un 15%. El aumento de las precipitaciones y el rápido derretimiento de la capa de hielo de Groenlandia en el Ártico están agregando gran cantidad de agua dulce al océano y esto hace que la salinidad y la densidad del agua, se reduzca, impidiendo que se hunda, volviendo lento al proceso de convección. La corriente del Golfo cuando llega a las altas latitudes debe profundizarse, si esto no ocurre, no podrá fluir con fuerza, como ocurrió en la Pequeña Edad de Hielo. Este ciclo de convección podría interrumpirse, debilitando a la corriente del Golfo, haciendo que no lleve desde las bajas latitudes el calor y vapor, que se constituyen en una parte fundamental de la Circulación Oceánica del Atlántico Norte.



FIGURA 4.6. La corriente del Golfo.

FUENTE: BLACK (2005).

En la Figura 4.7 se observa el patrón de la Circulación Oceánica del Atlántico Norte actual, en la parte de arriba, y el patrón de la Circulación Oceánica del Atlántico Norte de hace unos 20 mil años, en la parte de abajo. En el pasado, las aguas del Atlántico norte se hundían hasta unas profundidades intermedias, no lo hacían hasta la profundidad necesaria, era más superficial de lo que es ahora. Actualmente es más fuerte y llega a capas de aguas más profundas. Pero en los últimos años se ha observado que la corriente del Golfo se está debilitando otra vez, y esto puede conducir a cambios climáticos catastróficos en todo el mundo.

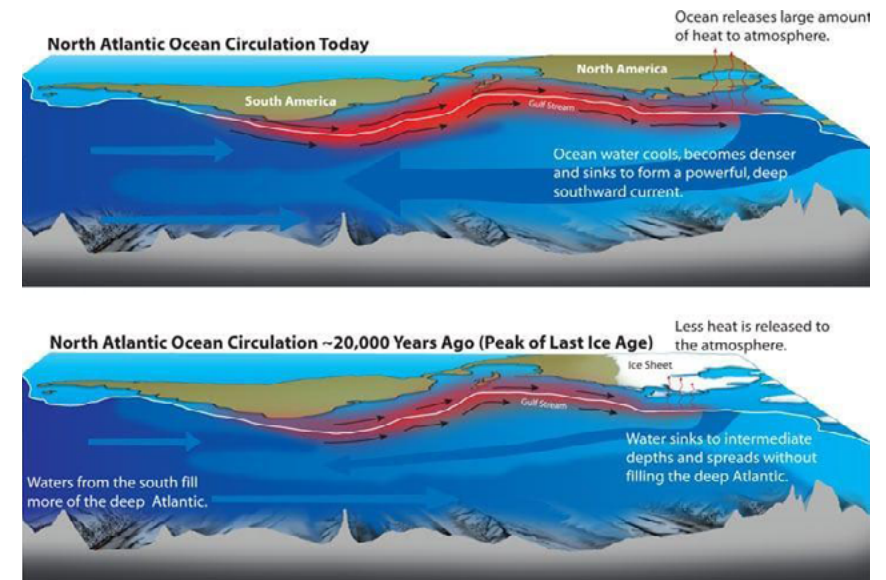


FIGURA 4.7. Circulación Oceánica del Atlántico Norte hoy (arriba) y hace 20 000 años (abajo).

FUENTE: MCMANUS Y OPPO (2006).

El flujo de la corriente del Golfo se encuentra en el punto más débil en estos últimos mil años, de continuar esta situación, no tendría la misma fuerza para realizar su giro acostumbrado y llevar aguas cálidas a Europa y Gran Bretaña, ni tampoco para llevar aguas frías con nutrientes que alimentan a las zonas de surgencia, por ejemplo, a las del Caribe. La corriente del Golfo ahora estaría cerca de un punto de inflexión, incluso por predicciones de modelos numéricos al 2.100, se proyecta un debilitamiento hasta en un 45%. Si esto llega a suceder habrá un cambio en las condiciones climáticas en todo el mundo, empezando por Europa en donde se presentarán inviernos gélidos severos y veranos con calores extremos, es decir, la amplitud de los valores de temperatura y humedad ya no van a ser menores como ahora, si no que van a alcanzar valores altos durante el año, debido a que el vapor de agua que lleva la corriente ya no va a suavizar ni a los veranos, ni a los inviernos. Por otro lado, aumentará mucho más la frecuencia de huracanes, debido a que en la época de verano la TSM va a alcanzar valores

mayores, va a ser más cálida favoreciendo la energía que requieren las tormentas tropicales para convertirse en huracanes, esto a su vez, repercutirá en el ciclo hidrológico, en los sistemas monzónicos de África y Asia, en la circulación atmosférica de EE.UU. donde se presentarán inundaciones en la costa este y el nivel del mar aumentará bruscamente. Son innumerables las consecuencias si esto sigue ocurriendo, lo cual repercute en la dinámica de la Cinta Transportadora Oceánica, de donde la corriente del Golfo forma parte importantísima, así como la corriente Circumpolar Antártica, que también se supone está cambiando. La Cinta Transportadora Oceánica mantiene al sistema climático actual y cualquier modificación en ésta influirá en el clima.

Las aguas superficiales y profundas del océano global están conectadas por medio de este sistema circulatorio planetario, llamado Cinta Transportadora Oceánica, conocido también como Circulación Meridional Profunda. En latitudes altas las aguas superficiales se sumergen en el océano Atlántico por convección profunda haciendo que estas aguas frías y salinas se hundan en dos puntos fundamentales, uno es el mar del Labrador, el otro el mar de Groenlandia. Al hundirse circulan lentamente en la profundidad, atraviesan el fondo del Atlántico y llegan al Antártico, donde se unen con las aguas profundas provenientes de los mares de Weddell y Ross, que son otros puntos donde ocurre convección profunda. Seguidamente, se desprenden varios ramales, uno sigue hacia el Índico, otro se desplaza hacia el Pacífico. En el Índico una rama se vuelve superficial y se regresa, otra continúa por el Pacífico y empieza a ascender. Luego de atravesar a estos océanos, regresan por la profundidad a los mismos puntos, con una duración de cientos de años, así se realiza la transferencia de gases y calor entre la atmósfera y las profundidades oceánicas. El sistema de circulación oceánica regula también el flujo de nutrientes para mantener la producción primaria, regula el flujo de calor y gases con las aguas superficiales y las profundas, dando lugar a la estructura vertical. La Cinta Transportadora Oceánica abarca toda la columna de agua, desde la superficie hasta las profundidades.

De la misma manera como está afectando a la corriente del Golfo, el deshielo de los glaciares está contribuyendo al aumento del nivel del mar, al incremento de la acidificación de las aguas oceánicas y a cambios severos en el clima. Si la temperatura en los sectores donde se presenta la convección profunda en el norte (Groenlandia y Labrador) y en el sur (Ross y Weddell) empieza a cambiar, toda la circulación oceánica colapsaría. Los hielos de la Antártica y de Groenlandia se han reducido en un 30%, lo cual se observó entre 1979 y 2006. Las temperaturas árticas presentan valores positivos durante ya varios años y se han registrado coberturas mínimas de hielo marino, lo cual evidencia que las condiciones actuales, son muy diferentes a las presentadas en años anteriores. Las causas del aumento del deshielo pueden ser la reducción del albedo en verano debido a la pérdida de la capa de nieve y de hielo, el aumento en el contenido de vapor de agua en la atmósfera ártica, cambios en la nubosidad total del verano y, el mismo retraso de la formación del hielo marino debido a que hay aguas más cálidas. La congelación retardada de hielo marino permite también que las temperaturas cálidas sigan avanzando hacia el polo norte.

En contraste con el Ártico, donde el calentamiento se observa uniformemente en la región, el continente Antártico ha tenido cambios de temperatura menos uniformes en los últimos 30 a 50 años. En el continente Antártico el calentamiento se presenta en forma sectorizada en el lado occidental, y casi ningún cambio significativo en la Antártica oriental. En la Antártica, el calentamiento es más débil en comparación con el Ártico, debido a la mezcla del océano profundo, a la absorción de calor del océano Austral (el cual rodea al continente Antártico) y a los impulsores de la circulación atmosférica en la superficie del Antártico. Estos son procesos de interacción océano atmósfera tales como la Oscilación Antártica (OAA), conocida también como el Modo Anular del Sur y el ENOS, los cuales fuertemente influyen en el clima de la Antártica. Así mismo, la Oscilación Multidecadal del Atlántico y la baja

presión del mar Amundsen pueden ser los impulsores de la variabilidad del clima de esta región durante las últimas décadas. La OAA presenta una tendencia positiva durante el verano Austral, haciendo que los vientos del oeste se fortalezcan en la superficie.

Algunas investigaciones aseveran que la variabilidad registrada en ENOS, está correlacionada con los cambios recientes del espesor de la plataforma del hielo antártico. El océano Antártico es una región clave a nivel mundial para el afloramiento de aguas oceánicas profundas hacia la superficie. La somerización de aguas profundas y subpolares relativamente cálidas ha controlado la variabilidad reciente del deshielo en los mares de esta región. En la Figura 4.8A se observan los cambios de masa acumulativa de la capa de hielo desde 1992 hasta el 2016. La curva de color verde representa a Groenlandia, las demás curvas en otros colores, representan a la Antártica. La de color azul oscuro es la unión de la antártica oriental y la occidental, las cuales también se muestran por separado e incluso se ve la curva rosada que representa a la península Antártica. Entre ellas, solo la correspondiente a la Antártica occidental conserva valores positivos de cambio de masa acumulativa de la capa de hielo. Entre todas las curvas, se ve que los cambios no han sido tan fuertes como los de Groenlandia. En la Figura 4.8B, se observa por separado a la curva verde que representa a Groenlandia como suma de dos componentes. Se aprecia que tanto el balance de masa de la superficie (en naranja), como el adelgazamiento dinámico (en azul) son negativos. En Groenlandia, la variabilidad en la presión atmosférica, la temperatura del mar, la insolación, entre otros parámetros, está influenciada por la Oscilación Atlántico Norte, sobre todo en su fase positiva.

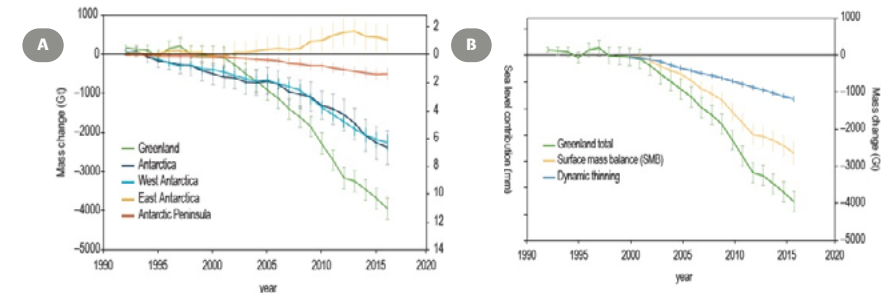


FIGURA 4.8. A. Cambio acumulativo de masa de la capa de hielo, 1992 - 2016. B. Componentes del cambio de masa de la capa de hielo de Groenlandia del balance de masa de la superficie (naranja) y el adelgazamiento dinámico (azul) de 2000 a 2016.

FUENTE: A. BAMBER ET AL. (2018); THE IMBIE TEAM (2018). B. BROEKE ET AL. (2016); KING ET AL. (2018).

Con relación a los índices de calentamiento observados desde 1981 hasta 2019 (Figura 4.9A), se observa que las profundidades por debajo de los 2.000 m se han calentado significativamente (la curva naranja representa al comportamiento global), lo que influye en la dinámica de la Cinta Transportadora Oceánica. El frente subantártico (curva de color púrpura) presenta mayor cambio de temperatura por debajo de los 4.000 m, lo cual concuerda con la Figura 4.9B, donde se encuentra la tasa de cambio de temperatura por debajo de los 4.000 m en todas las cuencas oceánicas del hemisferio sur, representadas con colores rojos.

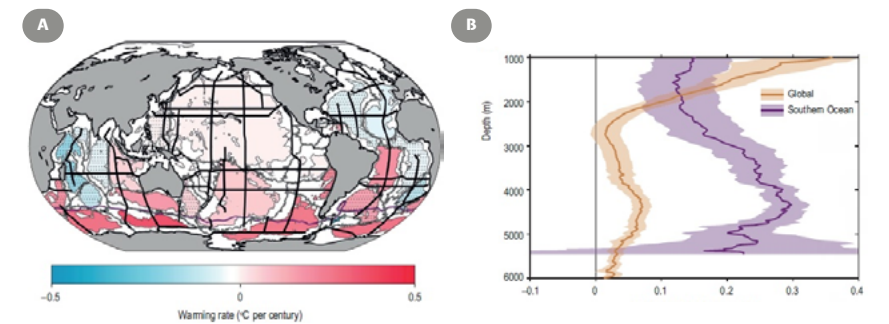


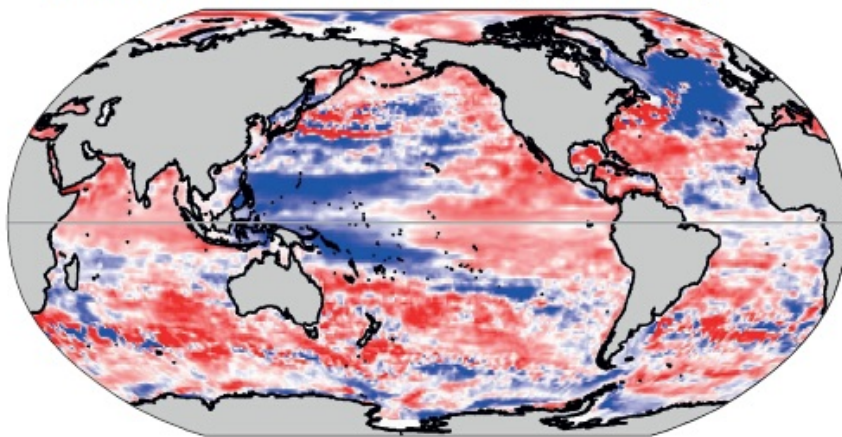
FIGURA 4.9. A. Índices de calentamiento observados de 1981 a 2019 en función de la profundidad a nivel mundial (naranja) y al Océano del Sur en el Frente Subantártico (la línea púrpura en aproximadamente 55°S) con intervalos de confianza del 90%. B. Tasa de calentamiento promedio (colores) por debajo de 4.000 m, en varias cuencas oceánicas (cuyos límites se muestran en líneas grises), con punteado que indica cuencas sin cambios significativos. Las líneas negras muestran las secciones hidrográficas repetidas utilizadas para hacer estas estimaciones. Datos actualizados de GoShip y técnicas de Purkey y Johnson (2010).

FUENTE: IPCC (2019).

Con relación a la acumulación de calor en la capa superior hasta los 700 m, se puede observar en la Figura 4.10A el mapa resultante de la diferencia obtenida de observaciones realizadas desde 1971 hasta 1990 (promedio de casi 20 años) con relación a las de 1998 a 2017 (promedio de casi 20 años). Esta misma resta se realizó entre los promedios de observaciones desde 2005 hasta 2009 (promedio de 5 años) y desde 2013 hasta 2007 (promedio de 5 años), plasmado en el mapa de la Figura 4.10B. Entonces lo que se obtuvo en la Figura 4.10A es una resta para un intervalo de veinte años, y en la Figura 4.10B para un intervalo de cinco años, lo cual, convertido en flujo de calor hacia el océano, muestra que realmente la acumulación de calor en la capa superior de los 700 metros, presenta bastante diferencia en los últimos años, siendo algo sutiles en la Figura 4.10A con el paso de 20 años (los colores rojos son la acumulación de calor, con tonalidad suave), y grandes contrastes en la Figura 4.10B representando cambios fuertes que están sucediendo últimamente en solo 5 años (los colores rojos son la acumulación de calor con tonalidad más intensa).

A

Inferred from Observations (2005–2009) to (2013–2017)



B

Inferred from Observations (1971–1990) to (1998–2017)

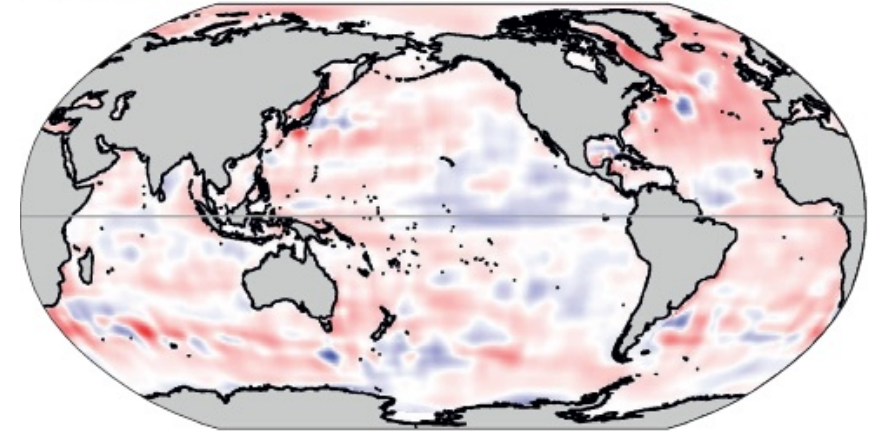


FIGURA 4.10. Absorción de calor en la capa superior de 700 m del océano. Diferencias entre los promedios durante dos intervalos de 20 y 5 años convertidos en un flujo de calor hacia el océano (W.m⁻²) basados en datos observados. A. Cambio entre (1971-1990) y (1998-2017). B. Cambio entre (2005-2009) y (2013-2017). Observaciones de Good et al. (2013).

FUENTE: IPCC (2019).

Lo mostrado en las figuras no es simplemente lo que uno cree que está sucediendo, en ellas se puede corroborar que el panorama oceánico y del clima ya está cambiando. En periódicos de actualidad, se encuentran casos como el ocurrido el 8 de febrero de 2021, cuando la nieve cubrió a Holanda por primera vez en diez años; el 11 de enero de 2021, cuando gran parte de España se paralizó por una tormenta de nieve; también lo sucedido en EE.UU., donde se presentó una histórica nevada que cubrió a Texas el 16 y 17 de febrero del 2021. Esto está sucediendo actualmente en el hemisferio norte, lo que podría estar relacionado además con el hecho de que, en el Ártico, la circulación que genera al frente polar está experimentando una división en dos sistemas atmosféricos separados, lo cual permite que haya cambios drásticos en el clima, afectando al océano, responsable de distribuir el calor a través de las corrientes, y a otros factores que repercuten no solamente en el clima del norte sino en el clima a nivel mundial.

REFERENCIAS

- BAMBER, J. L., WESTAWAY, R. M., MARZEION, B. Y WOUTERS, B. (2018). The land ice contribution to sea level during the satellite era. *Environmental Research Letters*, 13 (6), 063008, doi:10.1088/1748-9326/aac2f0/meta.
- BLACK, R. (2005). Ocean changes 'will cool Europe. BBC News. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4485840.stm> (Consultado el 10 de octubre 2018)
- BROEKE VAN DEN, M. R., ENDERLIN, E. M., HOWAT, I. M., MUNNEKE, P. K., NÖEL, B. P., BERG, W. J., MEIJGAARD, E. Y WOUTERS, B. (2016). On the recent contribution of the Greenland ice sheet to sea level change. *The Cryosphere*, 10 (5), 1933-1946, doi:10.5194/tc-10-1933-2016.
- GEOCITIES. (2009). Hadley Cell Circulation and the Trade Winds. http://www.oocities.org/rjwarren_stm/2P4/HadleyCell.html. (Consultado el 15 de Agosto 2016).
- GOOD, S. A., MARTIN, M. J. Y RAYNER, N. A. (2013). EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates. *J. Geophys. Res-Oceans*, 118(12), 6704-6716, doi:10.1002/2013JC009067.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE). (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC. 755 p.
- KING, M. D., HOWAT, I., JEONG, S., NOH, M., WOUTERS, B., NÖEL, B. Y BROEKE VAN DEN, M.R. (2018). Seasonal to decadal variability in ice discharge from the Greenland Ice Sheet. *The Cryosphere*, 12 (12), 3813-3825, doi:10.5194/tc-12-3813-2018.
- MCMANUS, J. F. Y OPPO, D. W. (2006). The Once and Future Circulation of the Ocean. *Oceanus*. <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/the-once-and-future-circulation-of-the-ocean/> (Consultado el 15 de febrero 2021).
- PURKEY, S. G. Y JOHNSON, G. C. (2010). Warming of Global Abyssal and Deep Southern Ocean Waters between the 1990s and 2000s: Contributions to Global Heat and Sea Level Rise Budgets. *J. Clim.*, 23(23), 6336-6351, doi:10.1175/2010JCLI3682.1.
- THE IMBIE TEAM. (2018). Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017. *Nature*, 558 (7709), 219-222, doi:10.1038/s41586-018-0179-y.
- VILLEGAS, N. (2021A). Circulación general de la atmósfera. Unidad II: Estratificación Termohalina del Océano. Diapositivas de la asignatura Introducción a la Oceanología. Departamento de Geociencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 25 p.
- VILLEGAS, N. (2021B). Circulación superficial del océano. Unidad III: El océano en movimiento. Diapositivas de la asignatura Introducción a la Oceanología. Departamento de Geociencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 32 p.
- WHOI. (2021). Center for Air-Sea Interaction and Marine Atmospheric Sciences at Woods hole oceanographic institution (WHOI). <https://www2.whoi.edu/site/casimas/> (Capturado el 8 de febrero 2021).



SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROVISTOS POR EL OCÉANO

► **José Ernesto Mancera Pineda**

*Profesor Titular, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
jemancerap@unal.edu.co*

Introducción

En la actualidad es muy frecuente hablar de servicios ecosistémicos (SE), un concepto en el que, a partir de las propiedades de los ecosistemas, se expresa la relación entre el ser humano y la naturaleza. Los SE se definen como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, es decir, es una percepción positiva entre natura y cultura. La percepción también puede ser negativa, y entonces se habla de deservicios, es decir, relaciones perjudiciales que se perciben de los ecosistemas. Un ejemplo de deservicio lo encontramos en los humedales costeros, donde son abundantes las poblaciones de insectos, algunos de los cuales pueden ser vectores de enfermedades, como la malaria, que eventualmente pueden causar la muerte. Independientemente de si la percepción es positiva o negativa, tácita o explícita, dicha percepción ha justificado durante muchos siglos la toma de muchas decisiones e intervención humana en los diferentes ecosistemas. Secar un humedal, construir infraestructura, desviar el curso de un río, rellenar zonas costeras, entre muchos otros, son proyectos que, en muchos casos, más allá de considerar su efecto a largo plazo, han sido desarrollados pensando en la utilidad presente.

Desde la ecología se ha venido abordando cada vez con mayor profundidad el conocimiento de los servicios ecosistémicos, como se evidencia

en la cantidad de trabajos publicados. Este abordaje ha permitido mayor interrelación entre las diferentes disciplinas y saberes. Por ejemplo, el diálogo entre ecología y economía para generar propuestas de valoración de los recursos naturales. En el caso de humedales como los bosques de manglar se han estimado valores del orden de US\$ 4.185 ha/año.

El paradigma de los servicios ecosistémicos (SE)

Los servicios ecosistémicos se han clasificado según su función. Están los servicios de soporte, donde aparece la biodiversidad, que constituye la base o fundamento de otros servicios como provisión, regulación y cultura (Figura 5.1), y bien administrados, inteligentemente utilizados estos servicios nos pueden llevar a desarrollo social, cultural y económico, cuando hablamos del mar, la lista del océano y de los mares de estos servicios es larga, pero sobre todo es muy importante. Por su extensión y características, el océano representa una gran fuente de servicios ecosistémicos valorados en cerca de US\$3.000 billones anuales, equivalente al 5% del producto interno bruto mundial.

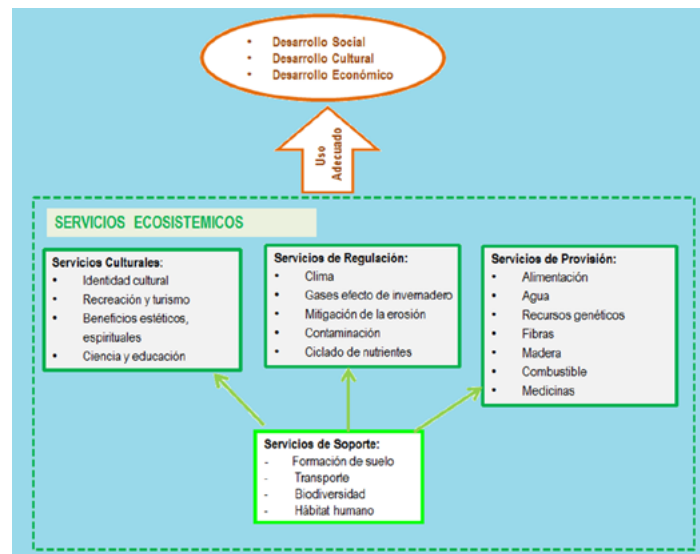


FIGURA 5.1. Modelo conceptual de clasificación y relación entre servicios ecosistémicos.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Dentro de estos servicios ecosistémicos, el océano provee el 97% del agua total existente; produce más del 50% del oxígeno disponible, es decir, es el principal pulmón del planeta. Regula el clima y absorbe el 25% del CO_2 generado en procesos naturales y antrópicos, lo cual es fundamental en el proceso de mitigación del cambio climático. Así mismo, el océano es fuente importante de minerales y en él se produce más del 20% de la proteína que consumimos. Cerca del 40% de la población mundial depende de forma directa del océano y toda la población depende de forma indirecta de éste.

Colombia, un país marino

Colombia es un país marino y los indicadores más sencillos de área lo demuestran, el territorio colombiano tiene una extensión de un poco más de 2 millones de km^2 y el área marina, el territorio marino (maritorio), corresponde a cerca de 1 millón de km^2 , es decir, 46% del país es mar, 31% distribuido en el Caribe y el 15% restante en el Pacífico.

La “aceleración azul” podría resumir muy bien la utilización global de los servicios ecosistémicos provistos por el océano. Este es el título de un artículo recientemente publicado (Jouffray *et al.*, 2020), donde los autores plantean la pregunta de si el futuro de la humanidad está en el océano y muestran la trayectoria de la expansión humana hacia el océano con el desarrollo de diversas actividades, que muchas veces resultan contrapuestas. La población humana, como todas las poblaciones, tiene un crecimiento exponencial, si bien la tasa de aumento ha disminuido, el número de personas en el planeta sigue aumentando y al tener más gente, obviamente se requieren más recursos. Con el uso intensivo y extensivo de recursos, las fuentes se están agotando, principalmente las fuentes terrestres que han sido las fuentes históricas de provisión de recursos naturales, lo cual ha obligado a explorar otras posibilidades. Dado que todavía la exploración del espacio extraterrestre está muy lejana, el ser humano se ha concentrado en la exploración

y explotación del océano. En la presente época, la del Antropoceno, el alcance, la intensidad y la diversidad de las aspiraciones que tiene la humanidad frente al océano no tienen precedentes. La tecnología permite ir a lugares inexplorados y a extraer recursos de una manera más eficiente, o al menos más eficaz, el desafío está en lograr la utilización de los múltiples servicios brindados por el océano, pero con dos características: sostenibilidad en un marco de tiempo, y con relaciones más equitativas a nivel social.

El océano fuente esencial de alimento

Del océano y de los mares el ser humano ha obtenido a través de la historia pescado, mariscos, mamíferos, reptiles, aves y algas. No obstante, se sabe que desde la década de los 60, la tasa de consumo de estos productos ha aumentado dos veces más rápido que el crecimiento poblacional, es decir, no solamente hay cada vez más usuarios, sino que el consumo de estos productos ha aumentado, al punto que este sector de alimentos es el que ha tenido mayor crecimiento a nivel mundial. Además de los productos que integran la canasta familiar, la actividad pesquera también genera empleo y todos los beneficios asociados (Watson *et al.*, 2015; Costello *et al.*, 2019).

En el 2017 la producción mundial de pescado alcanzó un máximo histórico de 173 millones de toneladas, la mayor parte, 88%, fue utilizada en el consumo directo. Sin embargo, este nivel de extracción también tiene consecuencias negativas. Entre 1950 y 1990, la captura de productos pesqueros tuvo una pendiente positiva y hacia 1990, la curva se empezó a aplanar y posteriormente entró en declive (Figura 5.2). Esto significa que muchos grupos de estos que conforman el denominan “stock” pesquero han venido decreciendo, es decir, sus poblaciones se han venido agotando, obligando a que la pesquería cada vez sea más alejada de la zona costera, en mares más profundos, y en zonas de menor explotación (Santos-Martínez *et al.*, 2013).

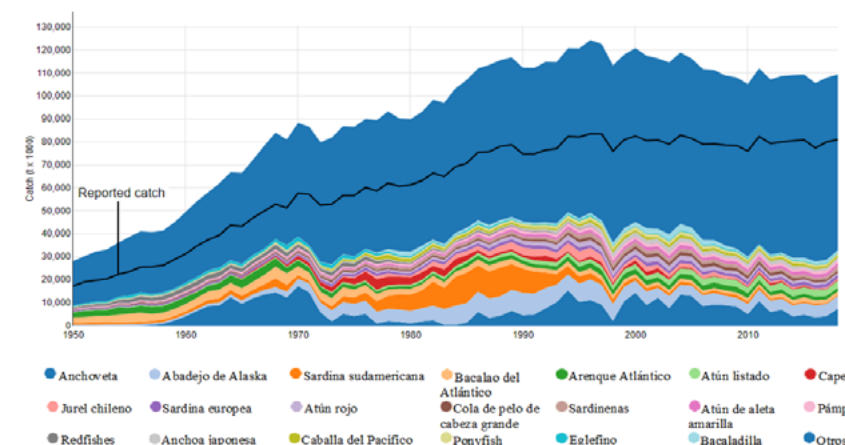


FIGURA 5.2. Capturas por grupos comerciales.

FUENTE: WWW.SEAAROUNDUS.ORG/DATA.

Como la cantidad de recursos no cubre la demanda, esto ha dado pie al desarrollo de la industria del cultivo de organismos acuáticos, la cual ha crecido de manera muy importante. Desde 1970 la producción acuícola ha crecido en promedio un 8% anual y si la comparamos con cualquier otro producto alimenticio o cualquier otra de estas industrias, es un incremento considerable y sin parangón. Aparte del consumo directo, lo que viene del mar como alimento tiene otros destinos, como el de la industria agrícola y ganadera. Entre 1950 y 2010, el 27% de los desembarques se destinó a este tipo de uso, produciendo harina o aceite para organismos de cultivo. Un ejemplo, es el de la merluza o anchoveta peruana *Engraulis ringens*, que representa una de las pesquerías más grandes del mundo y está básicamente destinada a la producción de harina y aceites.

Otro renglón clave es el de los nutracéuticos, esto es una combinación de los términos nutrición y productos farmacéuticos, los nutracéuticos son alimentos que contienen moléculas bioactivas con importantes beneficios para la salud, más allá del valor nutricional, y el mejor ejemplo es el de los ácidos grasos, específicamente el omega 3. Esta industria se ha posicionado muy bien, se espera que en los próximos años genere cerca de US\$385.000 millones por año, una cifra muy importante. Por el momento la industria se

basa en la extracción del krill y de poblaciones como el pez linterna (Suleria *et al.*, 2015).

Si bien la industria genera recursos importantes, también genera impactos importantes, más aún cuando la pesquería básicamente está destinada a los consumidores superiores (“tops carnívoros”). Se estima que entre el 50 y 70% de las poblaciones de grandes predadores pelágicos fueron removidos por la actividad pesquera y aunque el porcentaje podría ser contradictorio, de acuerdo con algunos autores, de 133 extinciones tanto regionales como globales, el 70% corresponde a especies de los dos niveles más altos, consumidores secundarios y depredadores. Otro esfuerzo pesquero se concentra en los peces pelágicos menores, como el ya mencionado de la merluza peruana. En ambos casos se crean fuertes tensiones en las redes tróficas, al remover presas requeridas por peces, mamíferos y aves marinas, lo que produce el desarreglo de los ensamblajes de organismos que conforman los ecosistemas, y que son el resultado de adaptaciones y relaciones desarrolladas durante cientos de años.

Otro impacto de la pesca está relacionado con las artes y métodos empleados. Las redes de arrastre tienden a destruir el hábitat y cambian la estructura física tridimensional, impactando diversos grupos de especies como briozoarios, esponjas, hidroides, pastos marinos, entre otros, que son clave en la regulación y transferencia trófica. La alteración de la topografía puede disminuir zonas de refugio alterando dinámicas bióticas importantes de nutrición y/o apareamiento.

De otra parte, la pesca de especies carentes de importancia comercial, denominada pesca incidental o de descarte, puede llegar a representar cerca del 26%, correspondiente a unas 20 mil toneladas al año. La extracción de estos recursos que no se aprovechan, puede tener impactos ecológicos y ambientales considerables (McCauley *et al.*, 2015).

Suministro de hidrocarburos

Además de la pesca, los hidrocarburos representan cerca de tres cuartas partes del uso de la energía primaria a nivel mundial, actualmente el 30% son extracciones de alta mar, en la década pasada, del 2000 al 2010, los principales descubrimientos, cerca del 70%, fueron justamente en zonas de alta mar. Actualmente hay cerca de 9.000 plataformas marinas en diferentes lugares del mundo, las cuales generan un tercio del valor total de la economía oceánica, es decir, al comparar todas las industrias oceánicas, esta es la que más recursos genera y obviamente en la medida que las fuentes terrestres se agotan, las fuentes costeras empiezan a ser más exploradas, principalmente en mar abierto y en zonas no exploradas, como la del ártico, zona que empieza a explorarse de forma intensiva (Hein *et al.*, 2013).

Además de los hidrocarburos, en el fondo del océano se encuentran hidratos de gas natural, compuestos sólidos que a la vista parecen hielo, y que aparentemente están ampliamente distribuidos. Países como Japón han ingresado activamente en esta industria, generando fuentes de contaminación a diferente escala. Esta actividad genera grandes emisiones de CO₂, altos niveles de ruido, lodos tóxicos, así como agua producida, que es una mezcla de agua que contiene metales pesados, isótopos de radio e hidrocarburos, un cóctel muy tóxico. Las fugas de gas pueden crear zonas hipóxicas o anóxicas, donde hay muy poca vida. Además de estos impactos, los derrames de petróleo, las fugas de gas y la instalación de infraestructura, generan importantes impactos negativos. Las estructuras móviles que pasan de un lado a otro, pueden ser la entrada de organismos potencialmente bioinvasores, desencadenadores de grandes impactos a nivel ecosistémico (Mancera-Pineda *et al.*, 2013).

Suministro de minerales

Del lecho marino también se extraen metales, minerales y agregados, dentro de los cuales están las arenas y las gravas que son también una industria en aumento, debido a la creciente demanda para construcción. También

se extraen diamantes, estaño, litio, oro, nódulos polimetálicos de manganeso, sulfuros polimetálicos masivos y costras de ferromanganeso ricas en cobalto. La industria extractiva de minerales del fondo del mar es todavía incipiente, sin embargo, hay ya cerca de un millón de kilómetros cuadrados contratados para la exploración en los próximos años.

Suministro de agua: Desalinización

Otro importante recurso que viene del mar es el agua, a través de la desalinización. Esta actividad ha concentrado mucha atención debido al crecimiento poblacional, al desarrollo urbano en las zonas costeras y al cambio climático que en algunas regiones se ve reflejado en el aumento en frecuencia y severidad de las sequías. En Catar, un país pequeño con solo tres millones de habitantes, el 99% del agua que consumen, es agua proveniente de la desalinización. En la actualidad hay tal vez unas 16.000 plantas a nivel mundial que generan 95 millones de metros cúbicos al día, y vienen en aumento (Elimelech y Phillip, 2011; Jones *et al.*, 2019). Recientemente en muchos lugares están operando plantas desalinizadoras flotantes, las cuales además de la emisión de gases y la descarga de concentrados y residuos químicos, generan arrastre de biota que entra en la planta con el agua que se va desalinizar. Las descargas producen hipersalinización y altas temperaturas, lo cual es nefasto para la biota. La infraestructura móvil puede facilitar el ingreso de especies invasoras, mientras las infraestructuras fijas pueden alterar el flujo natural de sedimentos.

Transporte marítimo

El transporte marítimo es otro servicio provisto por el océano que ha sido muy importante en muchas civilizaciones a lo largo de la historia. En 1960 se incorporó la utilización de contenedores en el transporte marítimo, lo cual permitió el aumento sin precedentes de la industria en los últimos 60 años, llegando a cerca de 94.171 buques en 2018. Con el impacto del cambio climático ha habido pérdida de hielo en algunos lugares como el Ártico, con lo cual se han deslumbrado nuevas rutas un poco más rápidas que empiezan a ser exploradas (Paine, 2014).

Uno de los principales impactos del transporte marítimo es la descarga de las aguas de lastre. Las aguas de lastre generan el peso necesario en los buques para la gobernabilidad de éste por parte del capitán. Hasta antes de 1900, los lastres eran sólidos, pero a partir de este año, la ingeniería naval desarrolló un sistema que permite usar el agua de mar para lastrear los buques. El agua se carga en el puerto de salida y se descarga en el de llegada, con la globalización de la economía se estima una transferencia de 10 billones de toneladas de agua por año entre los diferentes puertos. Según la organización marítima internacional, diariamente son transportadas entre 3.000 y 7.000 especies de un mar al otro, y aunque no todos los individuos que se transportan logran sobrevivir, los que lo hacen pueden convertirse en bioinvasores con graves consecuencias para la biodiversidad (Mancera-Pineda *et al.*, 2013).

Tuberías y cables submarinos

Otro beneficio importante que provee el océano lo constituyen las tuberías y cables submarinos, que son utilizados para transportar sustancias como gas, petróleo, agua o aguas residuales. Desde el primer despliegue que se hizo hacia 1950, los oleoductos y los gasoductos se han expandido por todo el mundo, solamente por citar un ejemplo, México, desde 1952 ha instalado más de 72.000 kilómetros en tuberías. Otro dato curioso, el gasoducto de mar adentro más largo del planeta, está localizado en el mar Báltico y transporta gas natural desde Rusia hasta Alemania a lo largo de 1.224 kilómetros. En 1988 se desplegó el primer cable de fibra óptica en el Atlántico, lo que marcó un hito en internet. Hoy en día el 99% de las telecomunicaciones a nivel internacional es posible gracias a los 1,3 millones de kilómetros de cables submarinos. Esta infraestructura ofrece más fiabilidad, velocidad, mayor capacidad y menores precios, que la comunicación por satélite, lo que resulta muy conveniente teniendo en cuenta que la industria de las telecomunicaciones está en amplio crecimiento porque cada vez más personas hacen uso de la misma y cada vez la cantidad de datos y la velocidad de flujo aumentan (STF Analytics, 2018).

Turismo y recreación

La industria del turismo y la recreación está basada en gran parte en la zona costera. Esta industria también está en amplio crecimiento y también genera empleo a millones de personas. Según la base de datos económicos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el turismo representa aproximadamente el 26% del valor agregado total de las industrias oceánicas. Es el segundo empleador más importante en la industria oceánica después de la industria de alimentos. Se destaca también el transporte de cruceros, que sería el segmento más rápido de la industria, de todos los viajes de placer, este es el que más ha crecido con 52 veces el número total de pasajeros desde 1970. Para la región del Gran Caribe se estima que por año se reciben 25 millones de turistas, generando cerca de US\$25.000 millones al año, una cantidad muy importante (Abdul Azis *et al.*, 2018).

El turismo fue presentado como la industria sin chimeneas, queriendo decir que tenía poco o ningún impacto, y nada más alejado de la realidad. El crecimiento turístico en zonas costeras ha provocado pérdida de hábitat, el desarrollo de costas artificiales ha influido en la degradación y pérdida de biodiversidad en diferentes niveles. Así mismo, las estructuras costeras duras como los diques afectan el transporte de arenas y por tanto los patrones de sedimentación. La expansión de grandes complejos hoteleros no solamente destruye hábitat, sino que influye de manera muy negativa en otros recursos como las aguas y la contaminación por aguas residuales y los desechos sólidos. Es muy evidente la enorme contaminación con plásticos y microplásticos y si bien el turismo no es la única fuente de este tipo de contaminantes, sí genera claramente un punto caliente de contaminación.

Energías renovables

Son múltiples los tipos de energía renovable provistas por el océano, tales como el viento, las olas, las corrientes, las mareas, los gradientes salinos, térmicos e inclusive la biomasa de organismos marinos. De todos estos tipos, la energía eólica es la única que ha logrado desplegarse comercialmente a gran

escala. En el año 1991, se instaló en Dinamarca, el primer parque eólico, y hasta ahora se ha generado una capacidad global cercana a 23.350 megavatios. El 80% de los parques eólicos está en Europa, y como todas las actividades humanas, generan huella, la cual depende del tipo de instalación y de la tecnología específica. Pero en términos generales, los principales impactos se resumen en perturbación por el tráfico de las embarcaciones dedicadas al mantenimiento y en la modificación de condiciones ambientales locales por la instalación de la estructura (Pérez-Collazo *et al.*, 2015). Así mismo, contaminación visual y se ha reportado alto riesgo de colisión con turbinas en movimiento por parte de las aves, altos niveles de ruido y vibración bajo el agua, lo que genera impacto a diferentes niveles en los ambientes bentónicos con desplazamiento de especies.

Biodiversidad marina: genes, especies y ecosistemas

De los servicios ecosistémicos provistos por el océano se destaca el de la biodiversidad, expresada desde genes hasta ecosistemas. Hace un poco más de una década, se conocieron los resultados del proyecto destinado a establecer el censo de la vida del mar, que arrojó una cifra de 212.042 especies. Esta estimación corresponde a un 15% del total de especies reportado para el planeta, un valor pequeño, que probablemente indica la existencia de zonas inexploradas y tal vez especies por descubrir.

De las especies marinas, las ornamentales son las de mayor tradición comercial, la cual se ha concentrado en tres sectores: industrial, familiar y el de joyería. El comercio de acuarios se impulsó desde los años 30 en Sri Lanka, y al son de hoy es una industria importante, casi todos los especímenes marinos son capturados en la naturaleza, principalmente en los arrecifes coralinos. Este comercio implica la recolección de más de 1.800 especies de peces y cientos de especies de invertebrados, donde se destacan los corales, y esta pesca se hace en cerca de 40 países, en muchos casos de manera ilegal, sin protocolos ni trazabilidad de la tasa de extracción. Actualmente está la moda de representar ecosistemas, arrecifes en miniatura y esto está teniendo unos impactos muy importantes en los ecosistemas (Wabnitz *et al.*, 2003).

Se destaca también los recursos genéticos y los productos derivados, en la década de 1950, se extrajeron los primeros compuestos de una esponja marina del Caribe *Cryptotethya crypta*, lo cual abrió el paso a una industria. Actualmente, el uso comercial de estos recursos genéticos está fuertemente basado en la investigación, la cual ha generado bases de datos fundamentales para la industria farmacéutica y cosmética, con las secuencias genéticas se han identificado por lo menos 34.000 productos naturales provenientes de especies marinas. Lo que ha impulsado a la bioprospección marina, está relacionado con las estrategias evolutivas de las especies, logrando éxito en ambientes extremos de temperatura, presión, salinidad y luz, lo que hace que su genoma sea de muy alto interés, buscando aplicaciones para una amplia gama de la industria. Este interés se puede estimar de diversas formas, una de ellas, el número de solicitudes de patentes asociado con genes de organismos marinos, el cual se ha incrementado, hasta agosto de 2018, con 13.171 secuencias genéticas de 865 especies que han sido asociadas con patentes internacionales (Leary *et al.*, 2009).

Zona costera

Muchos de los servicios provistos por el océano se concentran en la zona costera, la cual es de muy alta complejidad comparada con otros sistemas de la naturaleza. Si bien representa solamente el 20% de la superficie del planeta, alberga cerca del 50% de la población humana y cerca del 70% de las de las grandes ciudades. En la zona costera confluyen varios sistemas, el sistema atmosférico, el terrestre, el marino, en algunos casos la descarga de ríos, todo lo cual genera gradientes importantes con amplia y constante variabilidad en escalas de tiempo cortas que modulan y regulan diferentes procesos, como el de la producción biológica. La cuarta parte de la producción biológica mundial se genera en las zonas costeras en ecosistemas estratégicos como los litorales rocosos, arenosos, los pastos marinos, los arrecifes de coral, los manglares, las praderas de macroalgas y el sistema pelágico.

Los ecosistemas costeros además de alta producción biológica, ofrecen refugio a múltiples especies, regulan complejos ciclos biogeoquímicos, contribuyen a la protección física de la línea costera y constituyen barreras importantes frente a amenazas o disturbios, como los huracanes. Así mismo proveen diversos productos pesqueros, forestales y son clave en la conectividad de diferentes sistemas. Se destacan también por almacenar por largos periodos de tiempo carbono, contribuyendo con la mitigación de los efectos del cambio climático.

Conservación y Manejo

La expansión humana hacia el océano ha sido enorme en los últimos 50 años, generando alteraciones a diferentes niveles en los ecosistemas marinos. Con miras a sostener la provisión de servicios ecosistémicos, es necesario diseñar e implementar alternativas de conservación y recuperación, entre ellas, la creación de áreas marinas protegidas, de la cual se esperan beneficios ambientales, sociales y económicos. De conformidad con los objetivos de desarrollo sostenible y de la meta 11 del Convenio de Diversidad Biológica, los estados costeros se comprometieron con proteger cerca del 10% del medioambiente, aunque desde la academia se ha insistido que es una cifra pequeña que debería ser más ambiciosa, al menos de un 30%. Si bien ha habido progresos, actualmente hay 16.500 áreas marinas que podrían cubrir cerca del 7,5% del océano (Roberts *et al.*, 2017). La efectividad de las áreas marinas, además de su tamaño, depende de la capacidad de monitoreo y la aplicación de la normatividad. En el Caribe insular colombiano se localiza una de las reservas de biósfera más importantes por su tamaño y biodiversidad, se trata de la reserva Seaflower con 65.000 Km². Esta reserva es un laboratorio estratégico cuyo adecuado manejo basado en la gestión del conocimiento generado por los diferentes grupos de investigación de las universidades, centros e institutos, servirá de modelo para otras reservas.

Para resumir, el océano provee numerosos servicios ecosistémicos, sin embargo, debido a la creciente demanda de la humanidad por

bienes y servicios, los ecosistemas desde las costas hasta el mar profundo ya muestran señales de cambio. La idea que el océano es inalterable por su tamaño es equivocada y salvaguardar la sostenibilidad oceánica en tiempos de cambios rápidos, requiere esfuerzos transdisciplinarios, con acciones a nivel internacional, gubernamental, institucional y personal. Conciliar la aceleración azul con la equidad social y el uso sostenible de los recursos marinos, es sin duda un proyecto colectivo y permanente.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a The Sea Around US: Fisheries, Ecosystems & Biodiversity, iniciativa de University of British Columbia y the University of Western Australia.

REFERENCIAS

- ABDUL AZIS, P., MANCERA PINEDA, J. E. Y GAVIO, B. (2018). *Rapid assessment of coastal water quality for recreational purposes: Methodological proposal*, *Ocean & Coastal Management*, 151: 118 – 126. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.10.014>.
- COSTELLO, C., CAO, L., GELCICH, S., CISNEROS, M. A., FREE, C. M., FROELICH, H. E., ... LUBCHENCO, J. (2019). *The future of food from the Sea*. <https://www.oceanpanel.org/future-food-sea>.
- ELIMELECH, M. Y PHILLIP, W. A. (2011). *The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment*. *Science* 333, 712–717.
- HEIN, J. R., MIZELL, K., KOSCHINSKY, A. Y CONRAD, T. A. (2013). *Deep ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources*. *Ore Geol. Rev.* 51, 1–14.
- JOUFFRAY, J-B., BLASIAK, R., NORSTROM, A. V., OSTERBLUM, H. Y MAGNUS, N. (2020). *The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean*. *One Earth. Perspective*. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.016>.
- JONES, E., QADIR, M., VAN VLIET, M. T. H., SMAKHTIN, V. Y KANG, S. (2019). *The state of desalination and brine production: a global outlook*. *Sci. Total Environ.* 657, 1343–1356.

- LEARY, D., VIERROS, M., HAMON, G., ARICO, S. Y MONAGLE, C. (2009). *Marine genetic resources: a review of scientific and commercial interest*. *Mar. Policy* 33, 183–194.
- MANCERA PINEDA, J. E., GAVIO, B. Y LASSO, L. (2013). *Principales amenazas a la biodiversidad marina*. 2013. *Actual Biol* (99):111–133.
- MCCAULEY, D. J., PINSKY, M.L., PALUMBI, S. R., ESTES, J. A., JOYCE, F. H. Y WARNER, R.R. (2015). *Marine defaunation: animal loss in the global ocean*. *Science* 347, 1255641.
- PAINÉ, L. (2014). *The Sea and Civilization: A Maritime History of the World* (Atlantic Books).
- PÉREZ-COLLAZO, C., GREAVES, D. Y IGLESIAS, G. (2015). *A review of combined wave and offshore wind energy*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 42, 141–153.
- ROBERTS, C. M., O'LEARY, B. C., MCCAULEY, D. J., CURY, P. M., DUARTE, C. M., LUBCHENCO, J., ... CASTILLA, J. C. (2017). *Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 114, 6167–6175.
- SANTOS-MARTÍNEZ, A., MANCERA PINEDA, J. E., CASTRO, E., SJOGREEN, M., BENT, H. C. Y TORRES, J. (2013). *Propuesta para el Plan de Manejo pesquero de la zona sur del área marina protegida en la reserva de biósfera Seaflower*. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe. 80 p.
- STF ANALYTICS (2018). *Submarine Telecoms Industry Report: Issue 7 2018/2019* (STF Analytics).
- SULERIA, H. A. R., OSBORNE, S., MASCI, P. Y GOBE, G. (2015). *Marine based nutraceuticals: an innovative trend in the food and supplement industries*. *Mar. Drugs* 13, 6336–6351.
- WABNITZ, C., TAYLOR, M., GREEN, E. Y RAZAK, T. (2003). *From Ocean to Aquarium: The Global Trade in Marine Ornamental Species*.
- WATSON, R. A., NOWARA, G. B., HARTMANN, K., GREEN, B. S., TRACEY, S. R. Y CARTER, C. G. (2015). *Marine foods sourced from farther as their use of global ocean primary production increases*. *Nat. Commun.* 6, 7365.

LOS OCÉANOS EN EL ANTROPOCENO

CAPÍTULO 6



CONTAMINACIÓN POR BASURA MARINA EN COLOMBIA

► **Luisa Fernanda Espinosa Díaz**

Coordinadora del Programa Calidad Ambiental Marina, INVEMAR

luisa.espinosa@invemar.org.co

Introducción

De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas, la basura marina es cualquier material sólido de origen antropogénico fabricado o procesado, descartado o abandonado en el ambiente que llega al mar, ya sea por la disposición directa a través de los ríos, las aguas residuales, las aguas pluviales, las olas, etc. (UNEP, 2009). Dentro de estos materiales considerados como basura marina, se encuentra el papel, la madera, el vidrio, la cerámica y uno que está generando gran preocupación: el plástico, ya que las evaluaciones que se han hecho a nivel global han mostrado que entre el 60 y el 90% de la basura marina está compuesta por plásticos (UNEP, 2009; Iñiguez *et al.*, 2016).

Muchos de los materiales considerados basura marina tienen el inconveniente de que son poco o nada biodegradables y duran mucho tiempo en el ambiente, algunos ejemplos son los pañales desechables que pueden durar hasta 450 años en el ambiente; el hilo de pescar que se pierde con las embarcaciones de los pescadores, que puede durar hasta 600 años en el ambiente; las botellas de vidrio que tienen un tiempo de vida indeterminado en el mar; entre otros (Iñiguez *et al.*,

2016). Teniendo en cuenta la cantidad de material que está ingresando a las zonas marinas y costeras, y viendo el tiempo que estos materiales tardan en degradarse, el problema es bastante grave.

Los plásticos y microplásticos

Una de las mayores preocupaciones de la basura marina son los plásticos que son polímeros orgánicos derivados de los hidrocarburos, como el policloruro de vinilo, el poliestireno, el polipropileno, entre otros (Geyer *et al.*, 2017). Las características de estos materiales, como la flexibilidad que hace que se puedan moldear fácilmente, ser livianos, tener bajo costo, por lo cual son de fácil adquisición, además de ser durables, los hacen muy buenos para la elaboración de materiales que utilizamos diariamente (Jambeck *et al.*, 2015), como los envases de bebidas y alimentos; materiales para la construcción (tuberías, tejas); materiales que se utilizan en los medios de transporte (pasamanos, asientos, etc.); insumos para la industria médica, principalmente porque son fácilmente descartables, lo que evita una mala manipulación; materiales de electricidad, entre otras cosas.

Si bien las características del plástico son maravillosas para la producción de elementos que utilizamos en el día a día, son terribles para el ambiente porque son las que han hecho que los plásticos perduren mucho tiempo, se transporten fácilmente a otros lugares y su degradación genera microplásticos que tienen otros efectos negativos en el ambiente (Barnes *et al.*, 2009).

El plástico se viene utilizando desde el siglo pasado, pero su producción masiva comienza más o menos en los años 50, y ha aumentado de manera exponencial (Ryan, 2015), si sigue esta forma de producción y del consumo de este material plástico, vamos a llegar a una situación de muchísimas toneladas en el ambiente que, como son tan poco degradables están generando y van a seguir generando impactos

negativos en el ambiente. Por lo cual se considera que, si sigue la tendencia de producción del plástico, dentro de 100 años va a haber más plástico en el mar que peces (UNEP, 2018).

Los análisis realizados por el programa ambiental de las Naciones Unidas muestran que cerca de ocho millones de toneladas de plástico han sido introducidas en el mar (UNEP, 2018). Dentro de esos materiales, los plásticos de un solo uso, como los platos y recipientes en los que se empacan los alimentos, los tenedores, cuchillos, bolsas plásticas, entre otros, que tiene una forma de producción que va desde la elaboración hasta la disposición final, se descartan y quedan acumulados en el ambiente y no hay nada que hacer. Entonces, el mundo entero se convirtió en una cultura de usar estos materiales y descartarlos y a nadie le importa, es así como las toneladas de plástico que se desechan van en gran medida a los botaderos a cielo abierto y de ahí fácilmente son transportados por el viento a los cuerpos de agua y de ahí su destino final es el mar.

Dentro de las fuentes de contaminación que están descargando materiales de plástico en el mar están las fuentes marinas, como los buques pesqueros, las plataformas estacionarias, los buques de carga y los cruceros que generan basura y si no hay un cuidado de recolectarla y depositarla, o reciclar de alguna manera, esta basura va directamente al mar (UNEP, 2014). Por otro lado, están las fuentes terrestres que se producen por una mala gestión de los residuos sólidos, como es el caso de Colombia, donde los residuos plásticos se tiran a la caneca junto con el resto de la basura y estos materiales plásticos van a los botaderos, de allí a los cuerpos de agua y su destino final es el mar. A través de las descargas de aguas residuales y de aguas pluviales se ha observado que hay una entrada importante de estos materiales y sobre todo de microplásticos a las zonas marinas y costeras; y por otro lado, están los eventos naturales extremos, como los huracanes que destruyen la infraestructura de las

poblaciones costeras y el destino final de esos materiales es el mar, como lo que ocurrió en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, tras el paso de los huracán IOTA (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2021).

Los plásticos, como todos los materiales, se distribuyen en la columna de agua de acuerdo con su peso. Los elementos más pesados van hacia el fondo marino, allí son depositados y permanecen por largos periodos de tiempo; pero los elementos más livianos como las bolsas plásticas, las botellas pequeñas, son arrastrados por el viento y por las corrientes marinas y esta es la razón por la cual, en zonas como el Ártico y la Antártida, donde por supuesto no hay utilización de estos materiales, se encuentran elementos plásticos que han sido transportados desde las zonas donde se producen y se consumen. Adicionalmente, estos elementos de plástico tienen la particularidad de que se rompen en pequeñas partículas, convirtiéndose en otro contaminante de preocupación emergente que son los microplásticos, esas pequeñas partículas de tamaños menores a cinco milímetros que muchas veces ni siquiera se ven, pero que genera un tremendo impacto en el ambiente marino (UNEP, 2014).

Los microplásticos pueden ser de origen primario, que son producidos por la industria, como por ejemplo para cremas exfoliantes, cremas dentales y otro tipo de sustancias abrasivas que tienen pequeñas partículas; y microplásticos de origen secundario, que se producen por la degradación de materiales más grandes como botellas, bolsas, materia de construcción, etc., que, por efectos físicos, químicos, incluso por la acción de los mismos organismos, se parten en pequeñas fracciones.

Impactos de los plásticos y microplásticos en el ambiente

Dentro de los impactos que generan los plásticos y microplásticos en el ambiente, se pueden mencionar el deterioro de la calidad de los ecosistemas marinos y costeros por la acumulación de estos

materiales, daños físicos y mortalidad a los organismos marinos por enredo y por consumo, además de que estos materiales plásticos son capaces de absorber contaminantes como hidrocarburos, plaguicidas, entre otros y a través de la cadena trófica pueden ser incluso magnificados hasta llegar al hombre, no solo las pequeñas partículas, sino también estos contaminantes que son bastante peligrosos (Laskar y Kumar, 2019; Simul *et al.*, 2021). También se sabe, por investigaciones recientes, que son capaces de introducir y propagar especies exóticas en los hábitats (Zettler *et al.*, 2013), y además genera un impacto en la economía de las poblaciones costeras.

La contaminación por plásticos es un tema de preocupación mundial, por lo cual, existen muchas iniciativas globales orientadas a detener el problema. Por una parte, el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP), a través del grupo de expertos sobre basura marina y microplásticos, está trabajando para generar un acuerdo global que sea vinculante para los países, que tiene como propósito disminuir, sobre todo, el uso y la producción de plásticos de un solo uso.

Por otro lado, a través del objetivo de desarrollo sostenible 14 (Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible), la meta 14.1 indica en el mandato que a 2025 se deben haber hecho acciones para prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, incluida la basura marina.

Contaminación marina en Colombia

En Colombia, la situación de basura en las zonas marinas y costeras, tanto en el Caribe como en el Pacífico es debida principalmente al déficit en la prestación de servicios de aseo y la gestión de los residuos sólidos que en la mayoría de los territorios es baja (Figura 6.1); además, hay una inadecuada disposición de los residuos sólidos, carencia

de sistemas de separación en la fuente y no tenemos procedimientos donde estos residuos sean llevados, clasificados y entren a la cadena de reciclaje (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2017); y adicionalmente hay una escasa cultura ciudadana y poca conciencia ambiental.

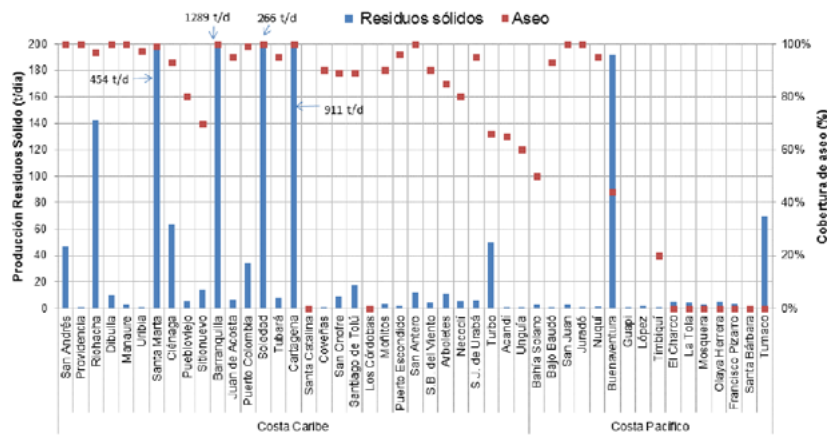


FIGURA 6.1. Producción de residuos sólidos según Superservicios (2014a; 2016), y cobertura de aseo en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano. Superservicios (2014a, b; 2016); Proactiva S.A. (2015), Gobernación de Antioquia (2012); Alcaldía Moñitos (2012); SIU (2017).

FUENTE: GARCÉS-ORDÓÑEZ ET AL. (2017).

En la Figura 6.1, se puede observar que, en las grandes ciudades costeras como Santa Marta, Cartagena y Barranquilla en el Caribe, y Buenaventura y Tumaco en el Pacífico, son las ciudades en las que se producen más residuos sólidos. En el Caribe, los sistemas de aseo tienen la capacidad de recoger casi del cien por ciento de los residuos sólidos, pero en el Pacífico, son pocas las poblaciones que tienen sistemas de recolección de basuras, en Buenaventura, por ejemplo, solamente se recogen cerca del 50% de las basuras que se producen y en Tumaco que es otra de las ciudades grandes, prácticamente el cero por ciento de la basura que se produce es recogida por el sistema de aseo (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2017). En las poblaciones que no tienen servicio de aseo se utilizan otros sistemas como el enterramiento, la quema, los

botaderos de cielo abierto, o la basura es dispuesta directamente en los cuerpos de agua naturales, como es el caso del Pacífico (Figura 6.2).

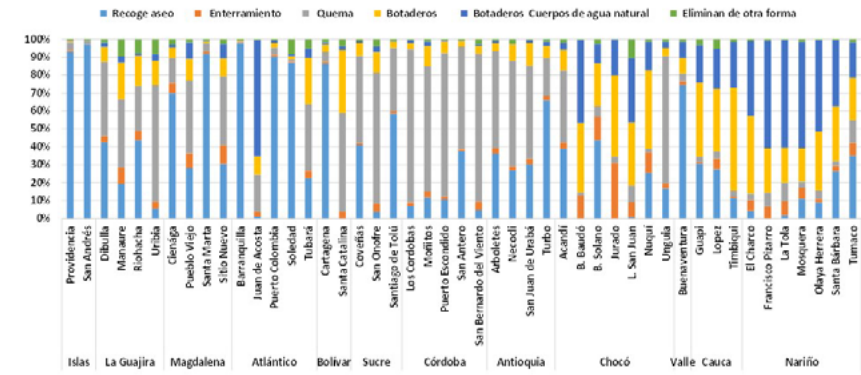


FIGURA 6.2. Disposición de los residuos sólidos en los municipios costeros del Caribe y Pacífico colombiano (DANE, 2005).

FUENTE: GARCÉS-ORDÓÑEZ ET AL. (2017).

Por otra parte, las actividades antropogénicas que se desarrollan en las zonas costeras de Colombia, como el turismo de sol y playa, no cuentan con controles suficientes y por lo tanto los turistas son generadores de basura; el comercio de alimentos como pescado, verduras, etc., que dejan los desperdicios tirados en los cuerpos de agua; la navegación de pequeña y gran escala; los puertos, incluidos los puertos de carbón, las plataformas offshore; la extracción de materiales, la producción de madera, entre otras actividades, son generadoras de residuos sólidos (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2017).

Afortunadamente, en el país hay preocupación y se han dado algunas iniciativas nacionales para tratar de detener el impacto de la basura plástica, como el impuesto a las bolsas plásticas, e iniciativas locales como “Desplastifica tu ciudad” en Santa Marta. Adicionalmente, en el marco de la Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM), actividad interinstitucional coordinada por INVEMAR, desde el 2021 se incluyó en el moni-

toreo los plásticos y los microplásticos en algunas estaciones de los 12 departamentos costeros, y se están haciendo campañas de concientización con escuelas, colegios y otros actores de los territorios, para que la gente empiece a tomar conciencia de que el problema de la basura plástica es grave y que todos debemos tomar acción.

INVERMAR como uno de los cuatro Institutos del Sistema Nacional Ambiental (SINA), que están vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), tiene como misión generar información técnica y científica que le permita al Ministerio y otras entidades del SINA, tomar decisiones y generar políticas públicas para la preservación de los ecosistemas marinos y costeros de Colombia. En el marco de nuestra misión, el programa de Calidad Ambiental Marina del INVERMAR ha venido desarrollando proyectos y actividades de investigación sobre basura marina, los cuales se describen a continuación.

El primer estudio realizado en el 2016, como producto del curso regional sobre microplásticos en peces pelágicos del Pacífico sureste, financiado por la Comisión Permanente del Pacífico Sureste (CPPS), con la ayuda del Programa Ambiental de las Naciones Unidas y de cuatro universidades chilenas, tuvo como objetivo evaluar la presencia de microplásticos en pequeños peces pelágicos recolectados en ciudades costeras del Pacífico suroriental. En el caso de Colombia, en Buenaventura y Tumaco se recolectaron 26 especímenes del pez pelágico planctívoro *Opisthonema liberate*. Los análisis mostraron que en ninguno de los especímenes recolectados se registraron microplásticos (Ory *et al.*, 2018).

Posteriormente en el 2017, con recursos de MinAmbiente, INVERMAR realizó un diagnóstico de los microplásticos en las zonas costeras de Colombia. Para esto, se seleccionaron 38 playas de siete departamentos ubicados en el Caribe y en el Pacífico, en donde se muestreó el agua, la arena de playa y en tres de los departamentos se recolectaron

peces para evaluar la presencia de microplásticos en el tracto digestivo. El diagnóstico mostró la presencia de basura plástica en las 38 playas evaluadas, principalmente plásticos de un solo uso y plásticos de consumo (Figura 6.3). En las playas del Pacífico se registró mayor acumulación de plásticos, debido a que como ya se había mencionado, la mayor parte de la basura en esta zona es depositada en los cuerpos de agua, ya que las poblaciones no tienen un sistema de recolección de basuras (Garcés Ordóñez *et al.*, 2017; Garcés Ordóñez *et al.*, 2020).

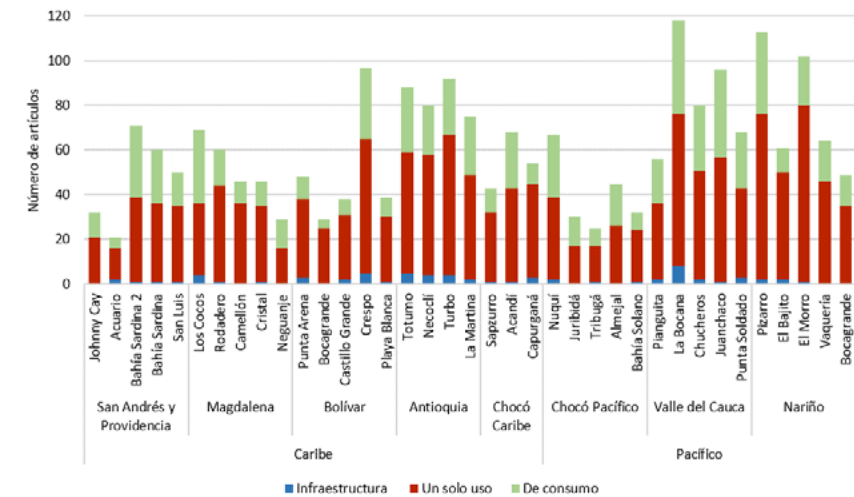


FIGURA 6.3. Tipos de plásticos encontrados en 38 playas ubicadas en el Caribe y Pacífico colombiano.

FUENTE: GARCÉS-ORDÓÑEZ ET AL. (2017).

Además de los plásticos de un solo uso que se utilizan una sola vez y se descartan inmediatamente, como envoltorios, bolsas, tapas, botellas, cubiertos, bandejas, materiales que son usados fundamentalmente por los turistas y que se quedan depositados en las playas sin que sean recogidos, también se encontraron redes de pesca, que se pierden o son descartadas voluntariamente por los pescadores. De estos materiales, aproximadamente el 66% correspondieron a plásticos de un solo uso, lo que muestra que hay una necesidad apremiante de regular el consumo de esos materiales y generar conciencia en los colombianos para dejar de usarlos.

En cuanto a los microplásticos, la evaluación se hizo tanto en la arena de playa como en el agua. La mayor cantidad de microplásticos en la arena de la playa y en el agua, se registró principalmente en los departamentos de Magdalena y Bolívar; en el agua de las estaciones del Valle del Cauca también se registró alta concentración de microplásticos (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2017; Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020a).

El análisis en diagnóstico en el tracto digestivo de los peces mostró que los individuos recolectados en Buenaventura fueron los que tuvieron mayor cantidad de microplásticos, con un 27% de los individuos analizados. En San Andrés solamente el 7% de los individuos tenían microplásticos y en Santa Marta, ninguno de los individuos analizados contenía microplásticos (Garcés-Ordóñez, 2017).

En el 2017, también se hizo una evaluación de basura marina en los manglares de las estaciones Palo Blanco, Tasajera, Rinconada, Caño Clarín, Buenavista y Caño Grande, en la Ciénaga Grande de Santa Marta. En total se recogieron 2.220 unidades de residuos sólidos que pesaron cerca de 179 kg, de las cuales, entre el 73,3 y 96,2% correspondían a plástico (Garcés-Ordóñez, 2019).

Adicionalmente, entre el 2017 y 2018, se hizo un análisis de la incidencia que tiene el turismo en la contaminación por la basura marina en playas cercanas a la ciudad de Santa Marta (INVEMAR-CORPAMAG, 2018). Las playas evaluadas fueron las del Parque Nacional Natural Tayrona, Taganga, playa municipal de Santa Marta, El Rodadero, Cabo Tortuga y Bello Horizonte. El análisis se hizo tanto en temporada alta, como en temporada baja. En cada playa, se estableció un transecto y se contó el número de personas que había en las zonas de playa. En la temporada de bajo turismo se contaron 2.254 personas, y en la temporada de alto turismo 6.428 personas, es decir, tres veces más personas en la playa. De igual manera, en la época de alto turismo, se registró también una mayor cantidad de basuras

en la playa (Figura 6.4), principalmente basura plástica (Figura 6.5). Estos resultados muestran el impacto que tiene el turismo sobre la contaminación por basura marina y la urgente necesidad de establecer acciones para regular las actividades turísticas y hacer que esta actividad sea sostenible (INVEMAR-CORPAMAG, 2018; Garcés-Ordóñez, 2020b).

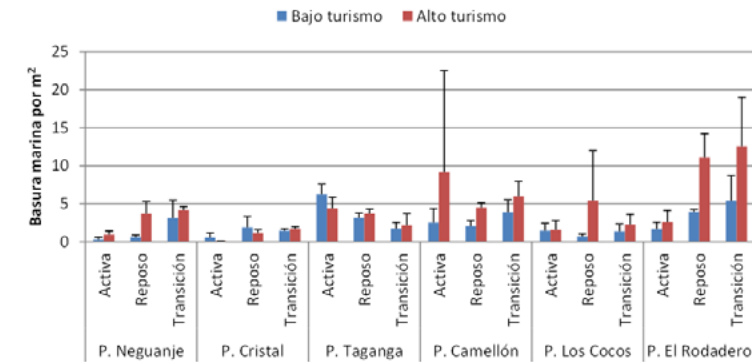


FIGURA 6.4. Concentración de macrobasura por metro cuadrado en las playas de Santa Marta, durante las temporadas baja y alta de turismo.

FUENTE: INVEMAR-CORPAMAG (2018).

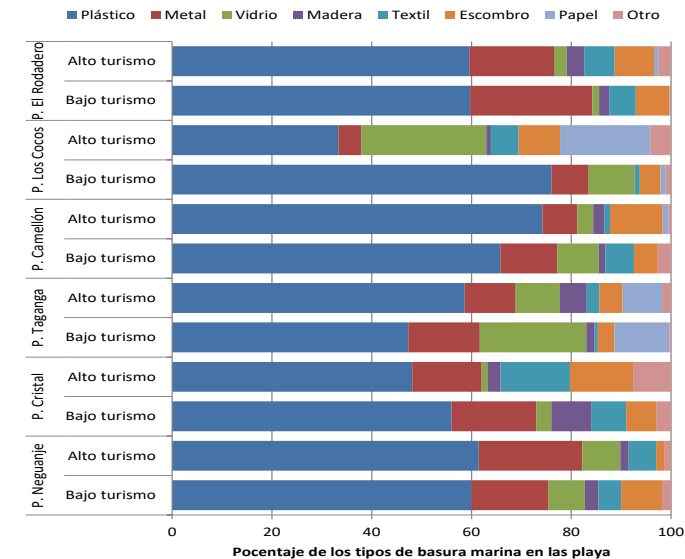


FIGURA 6.5. Porcentaje de los tipos de basura marina registrada en las playas de Santa Marta.

FUENTE: INVEMAR-CORPAMAG (2018).

Durante el 2018 se evaluó la basura marina en zonas de manglar de los departamentos del Cauca en el Pacífico y Córdoba en el Caribe. En el departamento del Cauca se establecieron estaciones en las bocanas de los ríos Timbiquí y Saija, donde se evaluaron microplásticos en aguas y sedimentos de manglar. En el agua superficial del río Timbiquí, se registró mayor cantidad de microplásticos que en el agua en la bocana del río Saija (Figura 6.6a); esto se debe a que la bocana del río Timbiquí, está más cerca de la población de Timbiquí, donde hay mayor cantidad de población y por lo tanto hay una descarga mayor de basura hacia la zona marina costera (INVEMAR, 2018). Dentro de los principales tipos de microplásticos se encontraron fragmentos, espumas que son características de los residuos de icopor, y filamentos (Figura 6.6b), todos estos microplásticos son de origen secundario que provienen de la degradación de otros materiales, como neveras de icopor que se usan para almacenar el pescado, las cuales son descartadas de cualquier manera y su degradación en el ambiente es el reflejo de los microplásticos que encontramos en esta zona.

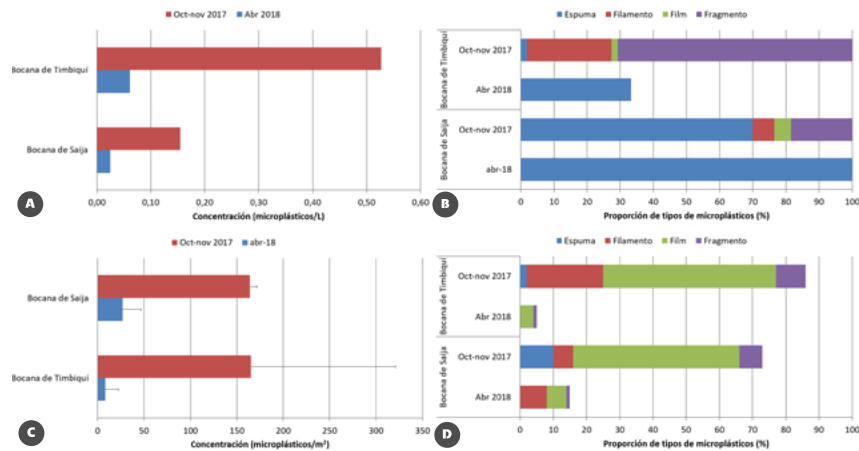


FIGURA 6.6. A. Concentración de microplásticos en agua superficial. B. Proporción de los tipos de microplásticos en agua. C. Concentración de microplásticos en sedimento. D. Proporción de los tipos de microplásticos en sedimento de los ríos Timbiquí y Saija en el departamento de Cauca.

FUENTE: INVEMAR (2018).

En cuanto al sedimento de manglar, se encontró que tanto en la bocana del río Timbiquí, como en la del río Saija, hay acumulación de microplásticos, fundamentalmente del tipo films y filamentos (Figura 6.6c y d), que van quedando depositados en las zonas de manglar donde pueden permanecer mucho tiempo, debido a que estas zonas pueden retener los materiales que ingresan cuando son arrastrados con la marea quedando allí atrapados.

La evaluación de microplásticos en aguas y sedimentos de los manglares de Córdoba, se realizó en dos temporadas climáticas seca y lluviosa (Figura 6.7). Durante la época de mayor pluviosidad, se observó una descarga más grande de microplásticos hacia la zona costera; además al igual que en Cauca, predominaron los microplásticos de origen secundario (Garcés Ordoñez, 2018).

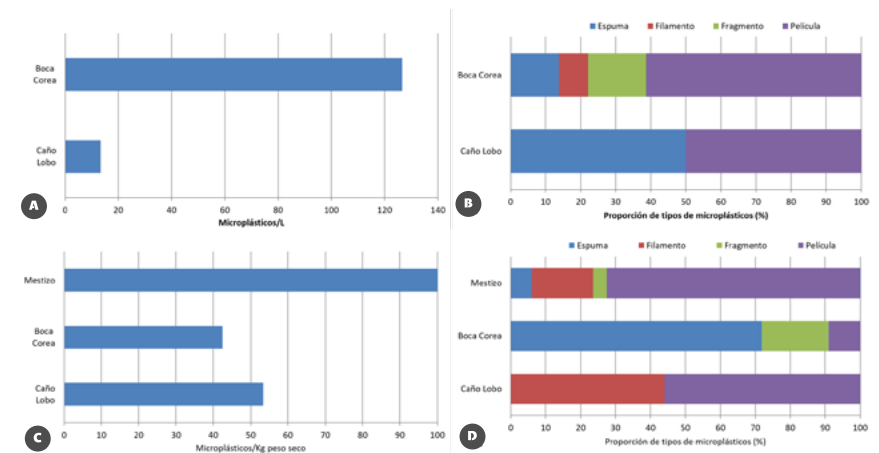


FIGURA 6.7. A. Concentración de microplásticos en agua superficial. B. Proporción de los tipos de microplásticos en agua. C. Concentración de microplásticos en sedimento. D. Proporción de los tipos de microplásticos en sedimento en las estaciones del departamento de Córdoba.

FUENTE: GARCÉS-ORDOÑEZ (2018).

Teniendo en cuenta que una de las fuentes de contaminación al mar son los eventos naturales extremos, el paso de los huracanes ETA y especialmente el huracán IOTA en el 2020, generó la destrucción de

casi el 90% de la infraestructura de las islas de Providencia y de Santa Catalina. Ante el interés de MinAmbiente para recuperar no solamente la infraestructura de la Isla, sino también los daños ocasionados a los ecosistemas marinos y costeros, se diseñó “la expedición Cangrejo Negro”. En el marco de esta expedición, en diciembre del 2020 se hizo una visita de inspección a los manglares de las islas de Providencia y Santa Catalina, encontrando que todos los manglares estaban bastante afectados por la destrucción de las viviendas y la infraestructura de las Islas, ya que estos materiales fueron arrastrados a las zonas marinas y muchos de ellos quedaron enredados en los manglares. Con base en lo observado, se diseñó la primera jornada de limpieza que se llevó a cabo en enero del 2021, en seis zonas de manglar; la cual se realizó con el apoyo de la comunidad de las Islas. Los residuos que se recolectaron fueron de diversos tipos, se encontraron desde lavadoras, tejas, materiales de construcción, entre otros. Dentro de los materiales encontrados, entre el 61 y el 66% correspondían a materiales de tipo plástico (INVEMAR, 2021; Garcés-Ordóñez, 2021).

Este trabajo continúa, además de las actividades de limpieza, se hicieron unas campañas de sensibilización y entrenamiento a la comunidad para que aprendieran cómo recoger la basura sin deteriorar el ecosistema, para que la actividad de recolección sea continuada por la comunidad en el resto de las zonas de las Islas.

Por otro lado, INVEMAR ha venido participando en los proyectos regionales de cooperación, apoyados por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA). Con el proyecto “Fortalecimiento de la red de vigilancia y respuesta para la sostenibilidad de los ambientes marinos y costeros (RLA/7/022)” que inició en el 2017 y terminó en el 2019, cuyo objetivo era contribuir a la construcción de política ambiental efectiva para la gestión sostenible de los recursos marinos en la región del Gran Caribe, se dio inicio a la Red de Investigación de Estresores

Marinos - Costeros en Latinoamérica y El Caribe (REMARCO), que en la actualidad está integrada por 18 países. Con el proyecto se dieron los primeros pasos para fortalecer la capacidad técnica de los países de la región para atender el problema de los microplásticos; se hicieron una serie de entrenamientos, se entregaron equipos y materiales a todos los países participantes, y se empezó a construir la red de monitoreo de microplásticos, que pretende tener datos regionales que permitan a los tomadores de decisiones generar políticas para atender el problema, disminuir sobre todo el consumo de materiales de un solo uso, que es la mayor preocupación, y dar respuesta al ODS 14.1.

Los retos que tiene Colombia son continuar monitoreando las basuras marinas, identificar otras fuentes de presión de estado de impactos, evaluar otros ecosistemas marinos y costeros, además del manglar, como los pastos marinos, los arrecifes de coral para entender qué está pasando en estos ambientes. Hay que empezar a evaluar los impactos ambientales de la basura y trabajar en el mapeo de la cadena de valor del plástico para generar estrategias de economía circular, que es una de las formas que se ha visto a nivel global que sirve para disminuir un poco el impacto que generan la producción y uso del plástico; desarrollar proyectos de cierre del ciclo de vida; y muy importante, apoyar programas de educación y sensibilización para que la población en general entienda el problema y contribuyan para disminuir esta situación en el planeta.

AGRADECIMIENTOS

La autora hace un reconocimiento especial a los investigadores del programa Calidad Ambiental Marina de INVEMAR que han participado en las actividades de investigación aquí presentadas, principalmente a Ostin Garces por su liderazgo en las investigaciones. También se hace un reconocimiento al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y a las Corporaciones Autónomas de los 12 departamentos costeros quienes han financiado las investigaciones, así como al Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), con cuyos recursos se han fortalecido las capacidades técnicas del país para hacer investigación sobre basura marina.

REFERENCIAS

- BARNES, D. K. A., GALGANI, F., THOMPSON, R. C. Y BARLAZ, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. *Philos. Trans. R. Soc. B* 364, 1985-1998.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O. (2018). *Diagnóstico del estado de contaminación por plásticos y microplásticos en aguas y sedimentos de playas y manglar del departamento de Córdoba*. Convenio 026-2018 CVS- INVEMAR. Santa Marta, 14 p.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., CASTILLO, V., RUEDA, R., RÍOS, M., BAYONA, M., MOLINA, F. Y ESCOBAR, M. (2017). *Diagnóstico de residuos microplásticos en las zonas marinas de Colombia*. 108-166. En: INVEMAR y MinAmbiente. Resolución No. 646 de 2017. *Formulación de lineamientos, medidas de conservación, manejo y uso de ecosistemas marinos y costeros, con la intención de apoyar acciones de fortalecimiento en la gestión ambiental de las zonas costeras de Colombia*. Santa Marta, 239 p.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., ESPINOSA-DÍAZ, L. F., PEREIRA, R., ISSA, B. Y MEIGIKOS, R. (2020A). *Plastic litter pollution along sandy beaches in the Caribbean and Pacific coast of Colombia*. *Environmental Pollution*. 267: 115495. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115495>.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., ESPINOSA-DÍAZ, L. F., PEREIRA-CARDOSO, R. Y COSTA-MUNIZ, M. (2020B). *The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean*. *Marine Pollution Bulletin*. 160: 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>.
- GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., SALDARRIAGA-VÉLEZ, J.F. Y ESPINOSA-DÍAZ, L.F. (2021). *Marine litter pollution in mangrove forests from Providencia and Santa Catalina islands, after Hurricane IOTA path in the Colombian Caribbean*. *Marine Pollution Bulletin*. 168: 112471. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112471>.
- GEYER, R., JAMBECK, J. Y LAVENDER, K. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. *Science Advances*. 3 (7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
- INVEMAR. (2018). *Diagnóstico preliminar de microplásticos en aguas y sedimentos del manglar de los ríos Timbiquí y Saija en el departamento del Cauca*. Anexo19, Convenio 410-2017 CRC- INVEMAR. Santa Marta, 10p.
- INVEMAR. (2021). *Expedición Cangrejo Negro - Providencia 2021: respuesta a los impactos del huracán IOTA en los ecosistemas marino costeros, recomendaciones al proceso de restauración y primeras acciones implementadas*. Informe técnico final, Santa Marta, 109 p.
- INVEMAR-CORPAMAG. (2018). *Evaluación de las condiciones ambientales de la zona marino costera del departamento del Magdalena como herramienta para la gestión ambiental de Corpamag*. Santa Marta, 60 p.
- IÑIGUEZ, M. E., CONESA, J. A. Y FULLANA, A. (2016). *Marine debris occurrence and treatment: a review*. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 64, 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.031>.
- JAMBECK, J. R., GEYER, R., WILCOX, C., SIEGLER, T. R., PERRYMAN, M., ANDRADY, A., NARAYAN, R. Y LAW, K. L. (2015). *Plastic waste inputs from land into the ocean*. *Science* 347, 768-771.
- LASKAR, N. Y KUMAR, U. (2019). *Plastics and microplastics: A threat to environment*. *Environ Technol Innovation*, 14:100352. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100352>.
- ORY, N., CHAGNON, C., FÉLIX, F., FERNÁNDEZ, C., FERREIRA, J. L., GALLARDO, C., GARCÉS-ORDÓÑEZ, O., HENOSTROZA, A., LAAZ, E., MIZRAJI, R., MOJICA, H., MURILLO, V., OSSA-MEDINA, L., PRECIADO, M., SOBRAL, P., URBINA, M. Y THIEL, M. (2018). *Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean*. *Mar Pollut. Bull.* 127: 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>.
- RYAN, P. G. (2015). *A Brief History of Marine Litter Research*. En: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_1.

SIMUL BHUYAN, MD., VENKATRAMANAN, S., SELVAM, S., SZABO, S., MARUF HOSSAIN, M., RASHED-UN-NABI, M., PARAMASIVAM, C. R., JONATHAN, M. P. Y SHAFIQUIL ISLAM, MD. (2021). *Plastics in marine ecosystem: A review of their sources and pollution conduits*. *Reg Stud Mar Sci*, 41: 101539. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101539>.

UNEP. (2009). *Marine Litter a Global Challenge*. UNEP. Nairobi, 232 p. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7787>.

UNEP. (2014). *UNEP Year Book: Emerging issues in our global environment*. UNEP. Nairobi, 71 p.

UNEP. (2018). *Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability*. UNEP. Nairobi, 89 p.

ZETTLER, E. R., MINCER, T. J. Y AMARAL-ZETTLER, L. A. (2013). *Life in the "plastisphere": Microbial communities on plastic marine debris*. *Environmental Science and Technology*, 47(13): 7137-7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>.

CAPÍTULO 7



METALES PESADOS, CONTAMINACIÓN Y EFECTOS

► Néstor Hernando Campos Campos

Director del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR,
Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe
nhcamposc@unal.edu.co

Introducción

La contaminación por metales pesados en el medio marino es una problemática que no puede ser analizada sin tener en cuenta el ser humano, porque finalmente es el último de todos los involucrados que están siendo afectados por esta contaminación.

De los 118 elementos conocidos por el hombre, 84 son metales, son elementos naturales que desde la edad de hierro han desempeñado un papel importante en el desarrollo de las civilizaciones, gran parte del desarrollo industrial se debe precisamente a su uso industrial, un ejemplo es el incremento en el uso de los metales en general en la industria. Se hizo una evaluación entre 1850 y 1990 en la que se calculó la presencia de plomo y cobre en el ambiente y se pudo detectar que su uso ha multiplicado por 10 la concentración de estos metales en el medio ambiente (el medio terrestre y el atmosférico) y en gran parte debido a las emisiones que se dan de ellos (Miquel, 2001; Casas 2005).

No hay una definición clara de qué es un metal pesado, generalmente se acepta que los metales pesados aluden de un modo no muy

preciso a ciertos elementos metálicos e incluso algunos semimetales como el arsénico y no metales como el selenio de alta densidad, a los que se le atribuye esa definición por los efectos de contaminación ambiental, toxicidad y ecotoxicidad.

El nombre de “elementos traza” o por extensión “elementos rastos”, se utiliza comúnmente para designar los elementos metálicos naturales caracterizados por una elevada masa volumétrica superior a cinco gramos por centímetro cúbico.

Los metales pesados se caracterizan por tener un peso atómico relativamente alto (63,55 Cu y 200,59 Hg), que puede ser más o menos de 50 Dalton o mayor a 4 g/cm^3 (Oyarzun e Higuera, 2007). Pueden ser cationes polivalentes (tienen diferente valencia) y gran parte de estos elementos se definen por su importancia biológica o industrial y en general, en el caso de lo biológico, se relaciona con la toxicidad que pueden tener en el ambiente. De los metales más abundantes, son importantes la plata, el oro, el bismuto, el cadmio, el cobalto, el cromo, el cobre, el mercurio, el hierro, el galio, el indio, el manganeso, el níquel, el plomo, el paladio, el platino, el antimonio, el estaño y el vanadio.

El problema de los metales se presenta cuando sobrepasan concentraciones límites, en la Figura 7.1, se observa que todos los metales tienen un umbral de toxicidad, a partir del cual producen efectos adversos, o incluso la muerte. La Figura 7.1A corresponde a un elemento esencial, en el que la supervivencia está en un rango de concentraciones relativamente alto; la deficiencia, es decir, concentraciones relativamente bajas, inducen a problemas fisiológicos; las concentraciones normales son relativamente altas y luego de esa concentración alta, vuelve a entrar a su fase tóxica o letal. En el caso de los no esenciales (Figura 7.1B), las concentraciones mínimas son normales, pero cuando

alcanzan ciertos niveles de concentración, alcanzan su nivel de toxicidad y de letalidad, con concentraciones relativamente bajas si se comparan con las concentraciones de los esenciales.

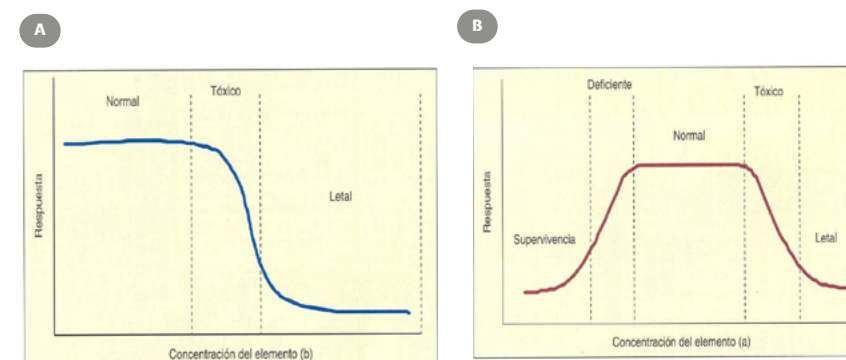


FIGURA 7.1. Relación entre la concentración y la respuesta para elementos (A) esenciales y (B) no esenciales.

FUENTE: HIGUERAS ET AL. (2014).

Se han descrito numerosos problemas que se presentan por la deficiencia y por la toxicidad (Tabla 7.1), la falta o el exceso de los metales esenciales pueden desencadenar efectos letales o subletales dependiendo si es una deficiencia o una toxicidad.

Los oligoelementos o elementos esenciales son muy abundantes en el medio, como son el Fe, Cu, Zn, Ni, Co, V, Se, Mo, Mn, Cr, As y Ti. Un exceso de ellos tiene consecuencias deletéreas para el organismo (Tabla 7.1). Generalmente el efecto del límite máximo es en función del estado fisicoquímico de la especie y del elemento en cuestión. Otros no son necesarios para la vida y pueden ser incluso perjudiciales como el Hg, Pb, Cd y Sb.

TABLA 7.1. ENFERMEDADES PRODUCIDAS POR LA DEFICIENCIA - EXCESO DE ELEMENTOS ESENCIALES EN HUMANOS.

ELEMENTO	DEFICIENCIA	TOXICIDAD
Hierro	Anemia	Hemocromatosis
Cobre	Anemia "Tambaleo"	Envenenamiento crónico de Cobre Enfermedad de Wilson-Bedlinton
Zinc	Enanismo Crecimiento retardado de las gónadas Acrodermatitis enteropática	Fiebre Metálica Diarrea
Cobalto	Anemia "Enfermedad del hígado blanco"	Fallas cardíacas Poliotemia
Magnesio	Disfunción de las gónadas Convulsiones Malformaciones del esqueleto "Enfermedad del músculo blanco"	Ataxia
Cromo	Trastornos en el metabolismo de la glucosa	Daños en el riñón (Nefritis)
Selenio	Necrosis del hígado Distrofias musculares ("Enfermedad de los músculos blancos")	"Enfermedad alcalina" "Tambaleo ciego."

FUENTE: HIGUERAS ET AL. (2014).

Fuentes de contaminación por metales en el medio marino

El agua de mar contiene en solución una combinación prácticamente, de todos los elementos químicos, pero solamente algunos de ellos, en este caso hablamos de 12, tienen concentraciones iguales o superiores al mg/L. Estos corresponden al 99,4% de los elementos disueltos en el agua de mar e igualmente a los presentes en la corteza terrestre. Esos son el oxígeno, el silicio, el aluminio, el hierro, el calcio, el sodio, el potasio, el magnesio, el titanio, el hidrógeno, el fósforo y el manganeso. Estos se encuentran situados en orden de abundancia. De los elementos trazas, que son los restantes, aproximadamente 68, sólo representan un 0,6% del total de la masa y tienen concentraciones inferiores a 10^{-6} molar en el agua de mar, es decir, las concentraciones son

relativamente bajas, por eso se considera que son elementos trazas o trazas de elementos, respecto a esto, tampoco está definido exactamente cuál de los dos términos es el indicado (Miquel, 2001; Casas, 2005).

Existen dos fuentes de contaminación por metales pesados: las fuentes antropogénicas y las fuentes naturales. Generalmente en el ciclo que cumplen los elementos después de que estos son transportados o liberados a la atmósfera, estos forman material particulado que es transportado por las masas de aire y dependiendo de las moléculas que formen, pueden ser llevados a mayor o menor distancia y por lo tanto, pueden ser depositados en diferentes sitios. Se produce deposición directa con la lluvia, esta los precipitaciones, afectando las fuentes hídricas y finalmente van a ser depositados en la franja costera. Se presenta deposición de partículas secas que se da cuando ya son moléculas pesadas, o se produce el intercambio de las lluvias.

En cuanto a las fuentes de metales pesados de origen antrópico, en la Tabla 7.2 se resume en gran parte, los procesos industriales en los que se están liberando metales al ambiente y los metales que son liberados directamente al medio. Resalta la importancia del cromo, que prácticamente se produce en todos los procesos industriales. La industria metalúrgica tanto del hierro como de otro tipo de elementos es la que produce mayor cantidad de elementos que son liberados al medio natural. Se destaca también el cadmio, que se produce en gran cantidad de procesos industriales, al igual que el mercurio; los abonos y en especial los industriales, son de las mayores fuentes de contaminación de cadmio. La industria química de la soda cáustica es un proceso en el que se extraen numerosos elementos de la sal marina y genera una descarga de contaminantes como el cadmio y el mercurio. Otro elemento que se genera en múltiples propósitos industriales (p.ej. pinturas) es el plomo. El cadmio, el mercurio y el plomo son los tres elementos de los cuales existen referencias en la literatura que indican que han causado problemas de intoxicación en humanos.

TABLA 7.2. PROCESOS INDUSTRIALES EN LOS QUE SE LIBERAN METALES AL AMBIENTE.

PROCESO INDUSTRIAL	AL	AG	BI	CD	CR	CO	CU	FE	HG	MIN	MO	PB	NI	SN	ZN
Papel y cartón					X		X		X			X	X		X
Petroq. Comp.	X			X	X			X	X			X		X	X
Ind. química	X			X	X			X	X			X		X	X
Abonos	X			X	X		X	X	X	X		X	X		X
Refinería	X			X	X		X	X				X	X		X
Ind. metalúrgica			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Dif. hierro	X	X	X	X	X		X		X				X		
Automotriz y				X	X		X		X				X		
Vidrio. Cemento.					X										
Textil					X										
Cuero					X										
Electrónica						X		X					X		
Planta vapor					X										

FUENTE: FÖRSTNER Y MÜLLER (1974); KENNISH (1994).

Las principales vías de entrada del contaminante del medio terrestre al medio marino son tres: las descargas a través de los ríos, transporte a través de la atmósfera y la actividad antropogénica.

Los metales pesados se acumulan en los organismos en forma iónica principalmente y a través de dos procesos: en animales por un transporte activo y en plantas acuáticas por un transporte pasivo.

En animales la adsorción se da a través de dos vías principalmente: la primera, las branquias y la pared corporal; y la segunda, por la ingestión de alimentos. La vía corporal (a través de las branquias y las paredes corporales) es mucho más importante que la toma a través del alimento.

Variables que afectan la biodisponibilidad de los metales

En el agua de mar hay una cantidad de variables que van a afectar la disponibilidad (la forma en que son fácilmente accesibles a los organismos) de los metales. La biodisponibilidad se ve afectada por varios procesos, principalmente los de adsorción/desorción. Según Salomons et al. (1988) los procesos son:

1. La oxidación de las partículas orgánicas como los sulfuros y desorción de metales superficiales por una tasa alta de disolución. Con los cambios de la concentración de oxígeno, se produce una liberación de los elementos unidos a la materia orgánica o en los sulfuros.
2. El incremento de la clorinidad, se presenta un efecto interesante, en un comienzo, por el efecto del aumento de la salinidad, se produce la liberación desde los compuestos orgánicos y posteriormente con el aumento de la salinidad forman cloruros.
3. El cambio en la turbidez, con el aumento de partículas suspendidas, aumenta, por lo tanto, la oferta de sitios para ser absorbidos.
4. El cambio en el pH afecta significativamente los procesos de adsorción/

desorción, formación de nuevo material, p. ej., los hidróxidos de hierro y manganeso, los famosos nódulos de manganeso, al concentrar mucho material orgánico del agua, atraen los elementos metálicos.

- 5. La floculación, esto sucede frecuentemente en los estuarios someros, como la Ciénaga Grande de Santa Marta, en donde se desprenden capas de sedimentos cubiertos por algas que forman flóculos generando así macromoléculas que atrapan los elementos metálicos.

Según Plant y Raiswell (1983), las variables que afectan en mayor proporción la disponibilidad de los metales son dos, el pH y el potencial redox. En la Tabla 7.3 se compara la movilidad, en el rango de movilidad alta, media, baja y muy baja, frente a el proceso de oxidante, ácido, neutro y alcalino, y reductor. El potencial redox es la capacidad reductora u oxidativa del medio, induce cambios en la valencia de los elementos, por ejemplo, en el caso del hierro en condición reductora, Fe+3 pasa a Fe+2. La movilidad de los metales, o proceso de traslado de una u otra molécula se ve afectado por el potencial redox. Según García y Dorransoro (2005) se ha determinado que, para el manganeso, valores bajos de potencia de redox, forman sulfuro de hierro (FeS) y el carbonato de hierro (FeCo3). Igualmente sucede con otros elementos, p. ej., los hidróxidos que movilizan muchos elementos que se ven afectados por el potencial redox, en el caso del Cu, Cr y Zn, con un potencial redox bajo, menor a 100 mV (el potencial redox se mide en mV) inducen prácticamente la liberación del elemento, mientras que, para el caso del Cd, la solubilidad del cadmio aumenta en un Eh mayor a 200 mV (Kabata-Pendias, 2000).

TABLA 7.3. MOVILIDAD DE METALES PESADOS EN FUNCIÓN DEL PH Y EH.

MOVILIDAD	OXIDANTE	ACIDO	NEUTRO Y ALCA-	REDUCTOR
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	-	-
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	-
Baja	Pb	Pb	Pb	-
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

FUENTE: PLANT Y RAISWELL (1983).

Salomons *et al.* (1988) demostraron la relevancia que tiene la clorinidad y el material suspendido en la disponibilidad de metales de los sedimentos. Tomaron dos muestras de sedimento del río Rin y les adicionaron a una 5 µg de Cd y a la otra 50 µg de Zn, adicionalmente los sometieron a diferentes concentraciones de material suspendido, pH y diferentes salinidades (Figura 7.2). El comportamiento de los dos elementos fue semejante, sin embargo, se presentaron diferencias marcadas: Cd presentó mayor variabilidad de la concentración, con la clorinidad, pero no se observaron diferencias marcadas con el pH (Figura 7.2A). Contrariamente, para el material suspendido se presentó una influencia fuerte, a mayor concentración de éste, menor el efecto de la clorinidad en la liberación del Cd (Figura 7.2B). Mientras que, para el Zn, se presentó una influencia marcada del pH, combinando el efecto de este con el aumento de la clorinidad (Figura 7.2C) y en el caso del material suspendido el efecto fue semejante al del Cd (Figura 7.2D).

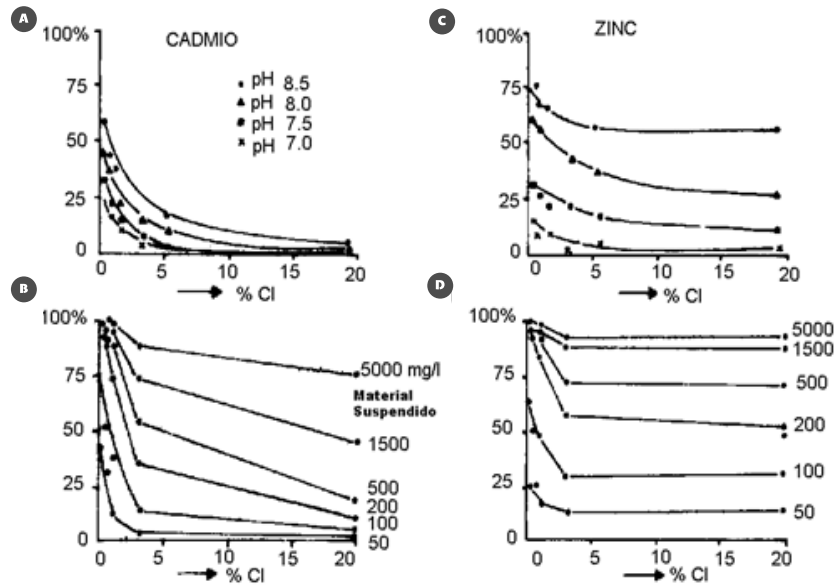


FIGURA 7.2. Cambio en las concentraciones de Cd (A y B) y Zn (C y D) con los cambios en la clorinidad y sometidos a diferentes pH (A y C) y contenido de material suspendido (B y D).

FUENTE: MODIFICADO DE SALOMONS ET AL. (1988).

Procesos que regulan la toma y liberación de metales

Los procesos que regulan la toma y liberación de los metales son tres: una adsorción por difusión pasiva en la interfase membrana agua; adsorción por difusión pasiva y/o activa de iones metálicos desde las membranas semipermeables; ingestión de iones con el alimento de combinación con la materia particulada y absorbida a través de la pared intestinal. La liberación se da a través de dos vías: la excreción a través de superficie del cuerpo y las branquias.

La toma se da cuando los elementos están en forma disponible, es decir, en solución. El transporte se hace generalmente a través de las membranas permeables por una difusión pasiva y no requiere ningún

gasto de energía. La difusión pasiva se da por la liposolubilidad o la polaridad reducida de ciertas formas metálicas, p. ej., los cloruros; las sales de mercurio, en especial las metilmercurio (HgCl₂, CH₃HgCl, etc.), tienen una alta probabilidad de transportarse a través de las membranas liposolubles o de polaridad reducida y pasan por difusión, por eso se pueden acumular fácilmente dentro de los organismos. La mayoría de los iones solo atraviesan membranas plasmáticas hidrofóbicas gracias a un ligando transportador. La difusión pasiva también puede ser facilitada por una serie de variables (p. ej.): por gradientes de concentración; por el desplazamiento del campo eléctrico, es decir, presencia de solvente; transporte activo por canales específicos de los cationes esenciales. Pero en la Figura 7.3, en este caso, se utilizarían proteínas (Casas, 2005).

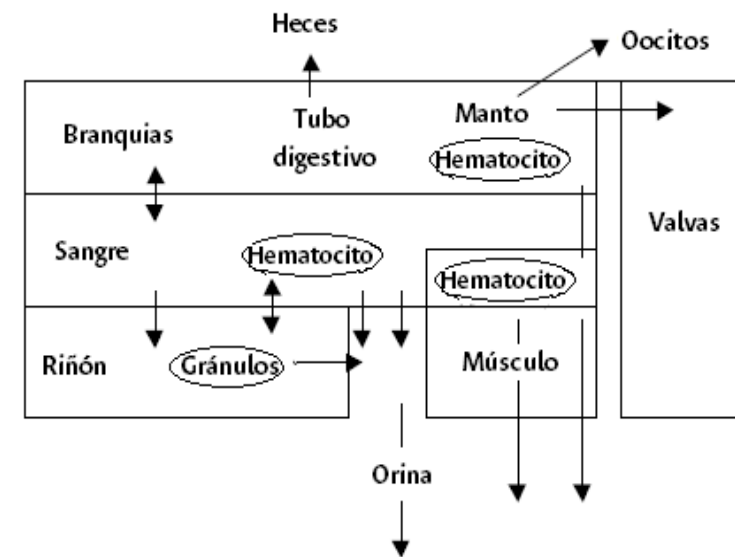


FIGURA 7.3. Mecanismos de excreción de metales en bivalvos.

FUENTE: MODIFICADO DE CASAS (2005).

Los procesos digestivos desempeñan un papel importante en la captura de metales a partir del alimento y del agua ingerida. En el tracto digestivo la actividad enzimática puede facilitar la asimilación de los

metales, si éstos se transportan con aminoácidos, el pH, que es probablemente el factor más importante, rompe las uniones entre el metal y la molécula orgánica transportadora (Tran *et al.*, 2002). Para el mercurio, el cadmio y el plomo (Hg^{+2} , Cd^{+2} y Pb^{+2}) el transporte se da por medio de un canal proteico no específico sobre la membrana celular.

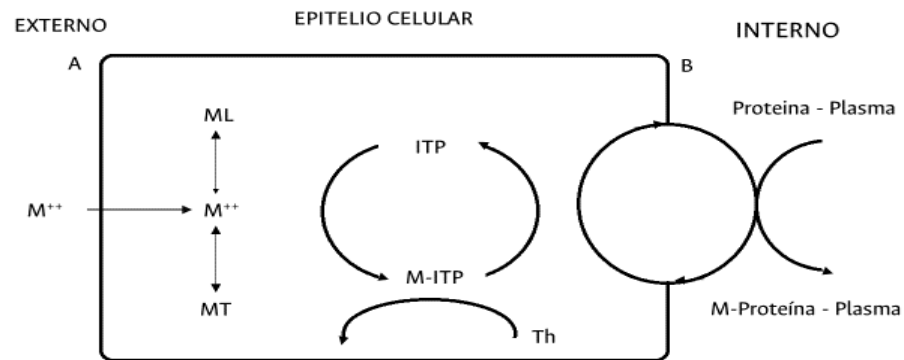


FIGURA 7.4. Modelo de absorción de metales a través de las branquias. A: Membrana apical de la célula. B: membrana basolateral de la célula. ITP: Transporte intracelular con proteínas. M: Metal. ML: Complejo metal - metalotioneínas. MT: Metalotioneínas. Th: Apotioneínas.

FUENTE: ROESIJADI Y ROBINSON (1994).

Según Casas (2005), el ingreso de los metales induce también a que se presente una excreción de ellos. Las principales vías de excreción de los metales es la materia fecal, la pérdida a través de las superficies permeables, la desorción pasiva y los gránulos de expulsión. En general se entiende que el órgano de excreción de los metales pesados es el riñón y los gránulos son eliminados con la materia fecal. Los metales entran a través de las branquias, el tubo digestivo y el manto (Figura 7.3); la mayor parte del metal que entra por el tubo digestivo es eliminado con la materia fecal. El del manto, parte es transportado hacia el órgano responsable del origen de los procesos de ovogénesis para unir-

se a los oocitos; los hematocitos que también se forman en el manto, pasan a formar parte de la concha. En el caso específico, por ejemplo, del plomo en la sangre, asociado a las proteínas, existe un flujo entre la parte interna y la parte externa del organismo que lo transporta, los hematocitos son los encargados de transportar y distribuir este plomo por todo el organismo. Finalmente, la sangre es filtrada en el riñón y produce los gránulos, que son liberados a través del riñón y expulsados a través de la orina.

Elementos no esenciales y toxicológicamente significativos, como el Cd y Hg no tienen mecanismos específicos de toma. El Cd puede atravesar las membranas en la forma iónica a través de las branquias, en el caso de los moluscos. Cd también es tomado por medio de proteínas conteniendo el grupo SH (Roesijadi y Robinson, 1994).

El transporte del metal (p. ej. Cd) es a través de las membranas celulares de las branquias (Figura 7.4), en el caso de *Mytilus edulis* el Cd es complejo por el cloro, se produce un intercambio con ligandos externos que facilitan la entrada a las branquias, entra en su forma iónica Cd^{+2} por difusión pasiva a las branquias con una interacción mínima de las membranas; en la célula es adherido a través de un ligando intracelular (CdA) o en muchos casos es unido a las metalotioneínas (CdMT); en esas dos formas de unión es transportado por endocitosis a vesículas celulares que por exocitosis lo liberan directamente en la hemolinfa.

Las metalotioneínas

Las metalotioneínas son proteínas solubles encontradas en el citosol, tienen una tasa de renovación rápida y se acumulan en los lisosomas terciarios. Estos lisosomas son vesículas de las membranas, de vida biológica corta y variable y se reconocen en los tejidos en forma de gránulos ricos en metales. En animales acuáticos han sido identificadas en el intestino delgado, hígado y branquias de peces; y en la glándula digestiva y branquias en

moluscos y crustáceos. Las metalotioneínas son el mecanismo predominante para la desintoxicación de ciertos elementos metálicos. Estas proteínas tienen un papel central en la regulación y la disponibilidad intracelular de Cu y Zn en el caso de elementos esenciales y no esenciales como Cd y Hg (Roesijadi y Robinson, 1994). Las metalotioneínas son proteínas de peso molecular medio, entre 6.000 y 21.000 dalton, con un alto contenido en cisteína, un aminoácido que tiene un grupo sulfhidrilo y están en capacidad de desactivar grandes o pequeñas cantidades de metales.

Otro aspecto importante en la contaminación por metales es la capacidad de bioconcentración y bioamplificación en redes tróficas. La primera es la capacidad de alcanzar concentraciones más altas que las del medio y la segunda, también denominada biomagnificación, es el aumento de las concentraciones de algunos agentes, con el aumento de los distintos eslabones de la red trófica, eso quiere decir que la concentración que tiene un organismo de un nivel trófico alto es varias veces la concentración de lo que tiene su alimento. La bioamplificación es más de las moléculas orgánicas, en el caso del mercurio está comprobada, pero para la forma orgánica metilmercurio. La aptitud del contaminante para cruzar las barreras biológicas, en el caso del mercurio, se debe a la capacidad de la forma orgánica para cruzar la barrera biológica y la remanencia de la molécula respecto a mecanismos de degradación (abiótico y antibiótico); aparentemente el metilmercurio es resistente al desdoblamiento de su molécula, mientras que otras moléculas orgánicas de mercurio se desdoblan fácilmente a mercurio inorgánico; la transferencia trófica es baja en las redes cortas, pero en las largas es mucho más complejo; y la duración de la vida. Finalmente, la bioamplificación integra la estructura biológica de los ecosistemas, es decir, está mostrando todo el comportamiento de los ecosistemas.

Problemas de intoxicación masiva y consecuencias

Los metales Cd, Hg y Pb son los únicos en los que la contaminación ha conducido a efectos deletéreos en el hombre.

» CADMIO

La enfermedad Itai-Itai, fue el primer caso documentado de intoxicación masiva por cadmio. Ocurrió en la prefectura de Toyama, Japón en 1912. El Cd fue liberado en los ríos por las empresas mineras en las montañas, como consecuencia de esto, aumentó la contaminación en el río Jinzu y sus afluentes, que se utilizaban para el riego de campos de arroz y para el suministro de agua potable, la higiene, la pesca y otros usos de las poblaciones aguas abajo. Al final el arroz alcanzaba niveles de concentración del cadmio de 4,2 ppm (1 ppm se puede considerar el nivel máximo permisible). La enfermedad de Itai-Itai es conocida como una de las cuatro grandes enfermedades causadas por la contaminación en Japón, el envenenamiento por cadmio causa osteomalacia e insuficiencia renal; la enfermedad se llama así por los fuertes dolores que provoca en las articulaciones y la columna vertebral. El término enfermedad Itai-Itai fue acuñado por los lugareños y literalmente significa ¡ay, ay! (Zarsa, 2019).

Scholz *et al.* (1978) resumieron en una tabla la sintomatología de la intoxicación por Cd, en la que muestran los efectos en los organismos (Tabla 7.4). En el intestino se inactivan los procesos de reabsorción y como consecuencia, se presenta alteraciones a nivel de la hemoglobina y los eritrocitos y el contenido de calcio, conduciendo finalmente a una anemia. En el riñón produce daño, atrofia de los túbulos, interferencia de la reabsorción y secreción, aparecen en la orina lisosomas, proteínas, aminoácidos, glucosa, calcio y potasio, es decir se pierde la capacidad de reabsorción y en la sangre se presentan alteraciones proteínicas, del calcio (Ca) y el potasio (K); la pérdida de Ca trae como consecuencia la descalcificación del esqueleto, deformaciones, acortamiento y rupturas, y se eleva la permeabilidad agua sal; por la pérdida de K se presentan efectos en el sistema muscular, como calambres, hipersensibilidad, debilitamiento y alteraciones cardiacas.

TABLA 7.4. EFECTOS DE ENVENENAMIENTO CRÓNICO POR CD. SE PRESENTA EL ÓRGANO AFECTADO, EN DÓNDE SE VE REFLEJADO LA AFECTACIÓN DEL ÓRGANO (ORINA Y SANGRE) Y LAS CONSECUENCIAS.

PRIMER ÓRGANO, TEJIDO Y FUNCIÓN AFECTADA	ORINA	SANGRE	ÓRGANOS, TEJIDOS Y FUNCIONES SECUNDARIAS
Intestino: Inactivación procesos reabsorción (Fe, Ca)	-	Hemoglobina, Eritrocitos Ca.	Anemia
Riñón: Daños, atrofia de túbulos. Interferencia reabsorción secreción	Lisosomas, proteínas, aminoácidos, glucosa, Ca+ y K+	Alteración fracción proteínicas Ca+	Descalcificación, esqueleto (Ca) Deformaciones Acortamiento Rupturas Elevación permeabilidad (agua, sal)
		K+	Efectos neuromusculares. Calambres hipersensibilidad, debilitamiento muscular. Alteraciones cardiacas
Córtex del riñón. Páncreas β células. Insulina. Metabolismo celular. Metaloencimas. Encimas-SH. Hígado muchas funciones Pulmón enfisemas	Na+	Na+ Glucosa(+)	Fuerte desdoblamiento de glucosa Alteraciones en crecimiento y desarrollo Atrofia hepática

FUENTE: MODIFICADO DE SCHOLZ ET AL. (1978).

Otros efectos de envenenamiento crónico por Cd se dan en el córtex del riñón, en donde se presenta una pérdida de sodio que aparece reflejado en la orina, afecta las células pancreáticas de la β - globulina encargadas de producir la insulina, por lo tanto, hay un aumento sustancial de la glucosa en la sangre; se afecta el metabolismo celular y se incrementa la síntesis de metaloenzimas del grupo - SH. Finalmente trae un fuerte doblamiento de la glucosa y presenta alteraciones en el crecimiento y desarrollo, y atrofia hepática.

» MERCURIO

La enfermedad de Minamata se denomina así, porque la ciudad de Minamata, Japón, fue el centro de un brote de envenenamiento por metilmercurio en la década de los años 50. En 1956, el año en que se detectó el brote, murieron aproximadamente 45 personas. Las mascotas y los pájaros del lugar mostraban síntomas parecidos.

El mercurio es un tóxico ambiental ubicuo. Existe en tres formas, forma elemental Hg⁰, inorgánicas Hg²⁺ y orgánicas Hg-org. Toma forma líquida a temperatura ambiente, pero se evapora fácilmente en vapor de mercurio. De las tres formas, el mercurio orgánico, principalmente el metilmercurio (MeHg), es la forma más peligrosa (PNUMA, 2010).

El metilmercurio es biodisponible y se puede bioacumular y biomagnificar en y a través de las redes alimentarias. El consumo de mariscos, especialmente el consumo de pescado, son las principales fuentes de exposición de los seres humanos al MeHg. En 1956 fue reconocida “La intoxicación por metilmercurio en Minamata” (MPM por las siglas en inglés), siendo éste el primer incidente en el mundo, aunque hubo algunos eventos en los que varias personas habían sufrido daños directos a la salud por la exposición al mercurio orgánico en un laboratorio o en una fábrica (Yokohama, 2018).

Según Yokohama (2018), la MPM fue un síndrome neurológico que fue causada por la ingesta de pescado y mariscos contaminados por compuestos de metilmercurio, generado en el proceso de producción de acetaldehído. El primer y segundo brote de este tipo de enfermedad en Japón fueron causados por efluentes vertidos de una fábrica de Shin-Nippon Chisso Hiryo en Minamata, prefectura de Kumamoto, y una fábrica de Showa Denko en Kanose Town, Prefectura de Niigata, respectivamente.

Debido a que el metilmercurio es soluble en lípidos, atraviesa la barrera hematoencefálica y se acumula en el cerebro. Metilmercurio en el cerebro causa la lisis de las células del sistema nervioso central, lo que resulta en irreversible, daños permanentes de las células (Rabenstein, 1978 En: Yokohama, 2018). Por lo tanto, MPM es ampliamente reconocido como un trastorno en el cerebro, mientras que Shiraki (1979 En: Yokohama, 2018) sugirió que MPM produce lesiones no solo en el cerebro sino también en los sistemas vascular y endocrino.

» **PLOMO**

El plomo (Pb) es el tercer elemento para el que, a pesar de no tenerse referencia sobre efectos letales, en la literatura hay registro de contaminación por Pb. En el 2018 se dio a conocer en un periódico la noticia del resultado de una investigación realizada por un equipo internacional de investigadores quienes descubrieron, gracias al análisis de los restos de dos niños neandertales, la más antigua contaminación por exposición al plomo en el hombre hasta la fecha, siendo estos hallazgos que datan de hace aproximadamente 250.000 años.

El descubrimiento, realizado en el sitio arqueológico de Payre en Ardèche, región del sureste francés, demostró la contaminación por Pb que sufrieron los dos menores a partir de la presencia de este elemento en sus esmaltes dentales (Smith *et al.*, 2018, El Tiempo. 02.11.2018). En

la medición que hicieron en restos de niños neandertales se encontró alto contenido de plomo en los tejidos óseos. El plomo tiene la particularidad de reemplazar el calcio (Ca) en los procesos de clasificación, por lo tanto, se acumula en donde hay carbonato de calcio.

En 1984 se dio a conocer a través de CRECES Ciencia y Tecnología (Delile *et al.*, 2014), un estudio publicado sobre la caída del imperio Romano en el cual se identificaba el Pb como la causa, adjudicándolo la primera causa de intoxicación a la contaminación del vino, ya que usaban ollas de plomo o forradas en este metal y al hervirlo en esos recipientes para mantener el color, la suavidad y el bouquet, se originaba un “azúcar de plomo” (en realidad acetato de plomo, un potente fungicida). El estudio se hizo en los restos óseos de la clase dirigente de los romanos y se determinó que había altas concentraciones de plomo en los tejidos óseos. El plomo en su forma orgánica produce saturnismo, es decir un mecanismo de interferencia a las actividades nerviosas y empieza a reducir la capacidad mental de las personas.

REFERENCIAS

- CASAS, S. (2005). *Modelisation de la bioaccumulation de metaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu Et Zn) chez la moule, Mytilus galloprovincialis, en Milieu Mediterranéen. These, Docteur de l'Universite du Sud, Toulon Var, Francia, 363 p.*
- DELILEA, H., BLICHERT-TOFT, J., GOIRAND, J. P., KEAYE, S. Y ALBARÈDE, F. (2014). *Lead in ancient Rome's city waters. PNAS. 111, 18. 6594 - 6599. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1400097111*
- FÖRSTNER, U. Y MÜLLER, G. (1974). *Schwermetallen in Flüssen und Seen. Springer Verlag, Berlin, 225 p.*

- GARCÍA, I. Y DORRONSORO, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de suelos* Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. pp. 256-267. Disponible en internet en la página web: <http://redalyc.uaemex.mx/>.
- GEORGE, S. G. (1980). "Correlation of metal accumulation in mussels with the mechanisms of uptake, metabolism and detoxification: a review." *Thalassia Jugoslavica* 16 (2-4): 347-365.
- HIGUERAS HIGUERAS, P. L., OYARZUN MUÑOZ, R. Y MATURANA CONTARDO, H. (2014). *Minería y Toxicología*. http://www.uclm.es/users/higueras/mam/Mineria_Toxicidad4.htm (15/03/2014). Disponible en internet en la página web: <http://redalyc.uaemex.mx/>
- KABATA-PENDIAS, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. Third Edition. CRC Press, Boca Ratón, USA. 413 p. Disponible en internet en la página web: <https://www.agronomy.org/>
- KENNISH, M. J. (1994). *Practical handbook of marine science*. CRC Press, Boca Ratón, Section 5: 411 - 546.
- MIQUEL, M. (2001). *Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé*. Rapport Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (Dir.). Rapport Sénat n°261: 360.
- OYARZUN, R. Y HIGUERAS, P. (2007). *Minerales, metales, compuestos químicos y seres vivos: una difícil pero inevitable convivencia*. http://www.ucm.es/info/crismine/Geologia_Minera/Mineria_toxicidad.htm.
- PLANT, J. A. Y RAISWELL, R. (1983). *Principles of environmental chemistry*. En: Thornton I (Ed). *Applied Environmental Geochemistry*. 1-39. Academic Press. Londres.
- PNUMA (PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE). (2010). *Estudio sobre los posibles efectos en la salud humana y el medio ambiente en América Latina y el Caribe del comercio de productos que contienen cadmio, plomo y mercurio*. PNUMA. 200 p.
- ROESIJADI, G. Y ROBINSON, W. E. (1994). *Metal regulation in aquatic animals: Mechanisms of uptake, accumulation and release*. 387 - 420. In D. C. Malins and G. K. Ostrander (E). *Aquatic toxicology, molecular, biochemical and cellular perspectives*. CRC Press Inc.
- SALOMONS, W., KERDIJK, H., PAGEE, H. VAN, KLONP, R. Y SCHREUR, A. (1988). *Behaviour and impact assessment of heavy metals in estuarine and coastal zones*. En: U. Seeliger, L. D. Lacerda & S. R. Patchineelam (E.) *Metals in coastal environments of Latin America*. Springer Verlag, Berlín, 157 - 198.
- SCHOLZ, N., FISCHER, H. Y THEEDE, H. (1978). *TOXIC EFFECTS AND ACCUMULATION OF CADMIUM IN SOME BENTHIC ORGANISM OF THE BALTIC*. *KIELER MEERESFORSCHUNGEN*, 4: 317 - 326.
- SMITH, T. M., AUSTIN, C., GREEN, D. R., JOANNES-BOYAU, R., BAILEY, S., DUMITRIU, D., FALLON, S., GRÜN, R., JAMES, H. F., MONCEL, M. H., WILLIAMS, I. S., WOOD R. Y ARORA, M. (2018). *Wintertime stress, nursing, and lead exposure in Neanderthal children*. *Sci. Adv.* 2018; 4: eaau9483. 1 - 9.
- TRAN, D., BOUDOU, A. Y MASSABUAU, J. C. (2002). *Relationship between feeding-induced ventilator activity and bioaccumulation of dissolved and algal-bound cadmium in the asiatic clam Corbicula fluminea*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 21: 327-333.
- YOKOYAMA, H. (2018). *Mercury Pollution in Minamata*. *Springer Briefs in Environmental Science*. 74 p.
- ZARSA, L. F. (2019). *Historias del agua (6): El primer envenenamiento por cadmio en el mundo*. *Agua Magazine* 36. <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/historias-agua-6-primer-envenenamiento-cadmio-mundo>

REALIDADES, RETOS Y FORTALECIMIENTO DE LAS COMUNIDADES COSTERAS E INSULARES DE COLOMBIA

CAPÍTULO 8

EN BUSCA DE UN MANEJO PESQUERO PARTICIPATIVO EN COLOMBIA

► **Lina María Saavedra Díaz**

Profesora Titular, Universidad del Magdalena

lsaavedra@unimagdalena.edu.co

Introducción

Las evidencias de investigaciones con relación a la pesca a nivel mundial demuestran que es posible realizar un manejo pesquero participativo como base para aportar a la crisis pesquera, ¿será esta la solución para nuestro territorio nacional? Este capítulo se estructura en tres diferentes secciones: 1) el contexto detrás de la ordenación y manejo pesquero en Colombia), 2) la relevancia de la pesca artesanal en Colombia, desde un enfoque más social, y 3) el proyecto que se ha venido trabajando durante la última década, que busca entender si es posible realizar un manejo u ordenación pesquera desde un enfoque participativo o “Bottom-Up”.

Desde 1995, la FAO estableció el Código de Conducta para la Pesca Responsable que ha sido referente en términos de cómo hacer la ordenación o cómo hacer ese manejo pesquero (Figura 8.1). Sin embargo, aunque la mayoría de los países miembro de las Naciones Unidas lo han ratificado, es un instrumento que se ha manejado a voluntad propia y esto no ha permitido hacer bien la tarea. Algunos artículos (Mora *et al.*, 2009; Pitcher *et al.*, 2009) han realizado evaluaciones respecto a qué tan efectivo ha sido la aplicación de ese Código a nivel mundial y

se refleja en sus resultados muy baja aplicación del mismo durante las últimas tres décadas. La tendencia nos deja ver que se está haciendo un inadecuado manejo en general ya que mientras las pesquerías siguen declinando, la sobreexplotación está aumentando. Mora *et al.* (2009) hacen un análisis de todos los países y encuentran que sólo el 7% de las naciones costeras deciden hacer políticas con base en información científica a nivel mundial (siendo muy bajo), y asimismo solo el 1,4% generan medidas de manejo desde procesos participativos y transparentes (eso también es preocupante), ya que quiere decir que realmente no estamos incluyendo a los usuarios y a quienes realmente están tomando las decisiones en el territorio. Los mismos autores demuestran que solo el 0,95% usa mecanismos robustos para asegurar el cumplimiento de esas regulaciones. En general, los países se han enfocado en controlar la talla, la cantidad y en el número de pescadores, pero estudios realizados a nivel mundial demuestran la mínima implementación de dichas regulaciones. Además, Pitcher *et al.* (2009) hacen un llamado ante esta situación, y así como dice el título de su trabajo: “No estamos haciendo honor a el Código”, invita a hacer un cambio urgente a esta legislación-marco que está rigiendo y que seguimos usando a nivel mundial, debido a que la manera en que estamos manejando los recursos no está funcionando. Ante esta situación y ante las diferentes críticas que se han generado, desde el 2010 la FAO inició un proceso de reflexión entre los diferentes países miembros, en donde se realizaron espacios de discusión y consulta en cada país, para identificar unos nuevos principios, determinar las fallas del proceso y establecer los puntos álgidos que no permiten realmente hacer una ordenación pesquera. Entre varios países lograron identificar esos puntos en común, surgiendo como mensaje principal que se ha fallado en no tener ese enfoque más humano que incluya a los usuarios y a todos esos actores que están involucrados en la pesca. La labor principal se ha concentrado en manejar los recursos pesqueros que obviamente son la base de la pesca, pero se ha abandonado el enfoque social. Por consiguiente, luego de cinco años de trabajo, surge como producto de este esfuerzo el

documento titulado: “Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de seguridad alimentaria y de la erradicación a la pobreza” (FAO, 2015), pensado desde un enfoque más humano, hacia la gente, los usuarios, y los actores que toman las decisiones en el sector. Sin embargo, estas directrices también son voluntarias, y las Autoridades responsables de la pesca deberían implementarlo pronto en Colombia. En la Figura 8.1 se muestran algunos de los principios fundamentales en los que se basan estas directrices, las cuales parten de un enfoque más integral, no solamente hacia la ordenación de los recursos sino también hacia asegurar que la gente que usa esos recursos, no se les vulnere sus derechos humanos ya que tienen derecho a un trabajo digno, a unas condiciones de un trabajo decente y en donde haya igualdad de género, ya que las mujeres representan y cumplen varios roles dentro del sector pesquero, pero son completamente invisibilizadas. Todas estas otras dimensiones buscan en general el bienestar de las comunidades, debido a que si los usuarios se encuentran en buenas condiciones también los recursos pesqueros lo estarán.



FIGURA 8.1. Principios fundamentales de las Directrices.

FUENTE: FAO (2022).

En esta sesión se ha destacado la importancia del enfoque de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible), donde es importante resaltar el objetivo 14-B específico para la pesca artesanal dentro del Objetivo de Desarrollo Sostenible de vida submarina. Es importante destacarlo, porque en los objetivos anteriores no habían tenido en cuenta este sector. Además, si se analiza la relación que tiene la pesca artesanal con cada uno de los otros 16 objetivos de desarrollo, la relevancia que tiene trabajar este sector es muy importante ya que la pesca aporta a cada uno. Por ejemplo, ayuda a disminuir la pobreza (ODS-1), el hambre (ODS-2), aporta al bienestar de las comunidades (ODS-11), entre otros. La pesca artesanal se convierte en un pilar fundamental para que avancemos en todos los objetivos de desarrollo sostenible al 2030, convirtiéndolo en un sector muy importante en donde desde la academia y desde la investigación se debería estar trabajando porque se estaría aportando conocimiento a muchos otros sectores.

La pesca artesanal en Colombia

Ahora entendamos cuál es la situación de la pesca artesanal en Colombia. Lastimosamente, esta es una imagen (Figura 8.2A) que uso en todas mis presentaciones porque es nuestra realidad, básicamente los pescadores están pescando basura. Otra escena típica es la Figura 8.2B, vemos un pescador distribuyendo la captura entre el número de pescadores que jaló el chinchorro y aunque no es una buena captura, al menos asegura el alimento en sus hogares ese día. Entonces, aunque quede poco y así sea lo último que estén pescando, es el alimento para ellos y sus familias. Otra situación muy común es ver pescadores que a pesar de ser adultos mayores todavía siguen pescando porque esa es su actividad económica (es su trabajo) y por lo tanto dependen de ella para su seguridad alimentaria como lo vemos en la Figura 8.2C. Aunque los recursos hayan disminuido y se encuentre en muy malas condiciones como se ha mostrado a lo largo del documento, todavía los pescadores veteranos o adultos mayores siguen realizando esta actividad (así como los pescadores que

vemos en la fotografía). Los pescadores siguen realizando esta actividad, porque de esto depende directamente su bienestar.



FIGURA 8.2. Imágenes visuales usadas como ejemplo para describir la realidad de la situación social, ambiental y económica de la pesca artesanal en Colombia.

FUENTE: ARCHIVO PROPIO.

Aunque está clara la importancia de esta actividad para las comunidades costeras, se ha incrementado el número de actividades económicas en el mismo territorio de pesca, generando diferentes tipos de conflictos. Por ejemplo, en la Figura 8.2D se observa el caso de la comunidad de pescadores de Taganga en donde hubo un derrame de aceite de palma que no les permitió pescar por varios meses, generando muchos conflictos entre ellos mismos, con otros sectores y todo esto producto de una visión de desarrollo que se ha dado en el país en las últimas décadas, donde el desarrollo está en función de una economía extractivista y no a un desarrollo

social o comunitario. Este panorama ha incrementado el número de casos de vulneración de derechos fundamentales lo que ha propiciado inequidades e injusticias. Todo esto evidencia un típico ejemplo de la “tragedia de los comunes” que no solamente es ambiental sino también social, y es muy preocupante que a pesar de todo lo que está sucediendo, desde el gobierno se están promoviendo políticas que visionan un país como una potencia bio-oceánica sostenible para el 2030, pero con una visión de desarrollo en donde predomina una dinámica completamente extractivista, trayendo a futuro más actividades y más conflictos. Urge respetar el rol de los pescadores como otro actor importante en el mismo territorio, no obstante, en dicho documento (Colombia una potencia bio-oceánica) la pesca artesanal no se nombra o no es tenida en cuenta, lo que nos permite visionar a futuro un incremento en los tipos y en la frecuencia de conflictos, en comparación con los que ya hemos visto en las últimas décadas.

Toda esta situación permite dimensionar la pesca artesanal no solamente desde un punto de vista pesquero, biológico o ecológico, sino también a verla desde los otros sistemas (recursos pesqueros, ecosistemas, usuarios y tomadores de decisiones), como el marco de referencia que nos invita a ver Ostrom (2009), el cual nos ayuda a entender y a aportar conocimiento a la pesca desde una visión más completa.

Ahora, ¿por qué hacer manejo pesquero en Colombia? En la Figura 8.3 observamos unas señales de alerta que simplemente simplifican todo lo que hemos visto previamente. Los pescadores también han sido víctimas del conflicto armado y narcotráfico durante los últimos 50 años. Ellos se encuentran en esos mismos territorios y no han sido tenidos en cuenta en el proceso de paz como deberían. Todas estas señales en el diagrama nos ayudan a entender y a justificar por qué se debería pensar en ordenar los territorios de pesca, en manejar integralmente los recursos y el sector pesquero en general, y aquí es donde surge la estrategia del co-manejo como una solución.

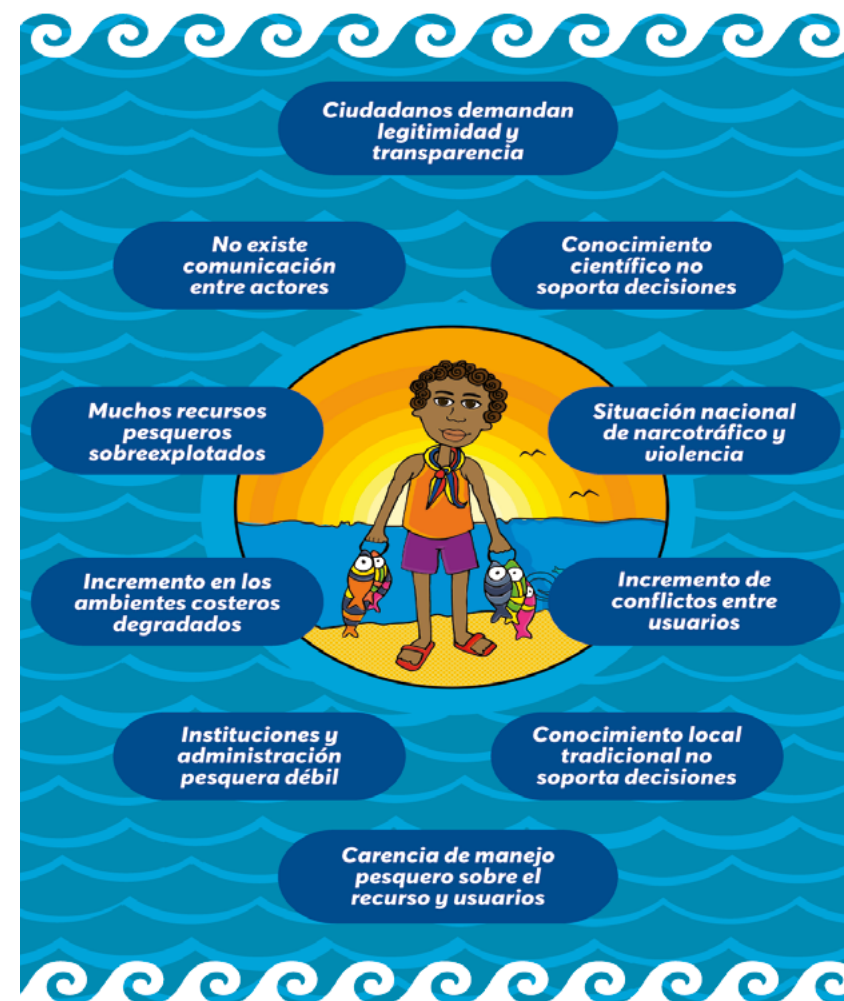


FIGURA 8.3. Señales de alerta que sustentan la necesidad de elegir el manejo pesquero participativo como una alternativa al manejo pesquero en Colombia.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA PARA COLOMBIA A PARTIR DEL TEXTO DE MCCONNEY ET AL. (2003).

En la Figura 8.4, vemos dos escenarios, a la izquierda la situación actual, el sistema que siempre se ha manejado en pesquerías, desde un modelo de gobierno centralizado en donde esté toma las decisiones y les dice a las comunidades qué hacer. A la derecha vemos un escenario ideal a futuro, a donde buscamos llegar con el tiempo, un manejo compartido, entre el gobierno y las comunidades en donde tomen decisiones a la par, como iguales, se colaboren, y trabajen en conjunto. Sin embargo, lo que se

está evidenciando en este momento, en muchas de las comunidades a nivel nacional, es que hay un ambiente de desconfianza donde no hay colaboración y comunicación con las autoridades pesqueras, y por eso creemos que la estrategia del co-manejo, a través de una de sus etapas: el manejo pesquero participativo, este podría ser la base para que se ingrese en un proceso cambiante y podamos adaptarnos a todo lo que está sucediendo, en donde aprendamos todos y se llegue a un escenario a futuro, en donde este proceso permita tener un ambiente más colaborativo, un ambiente donde haya justicia. A futuro, en el escenario planteado anteriormente se busca que haya un ambiente democrático, con equidad. Es importante tener en cuenta que el manejo pesquero participativo es un proceso que toma tiempo, no es un proceso de un día para otro, es adaptativo, flexible y cambiante. Como observamos en la gráfica (Figura 8.4), existen varios pasos dentro de este proceso, y uno de ellos es la aplicación de las regulaciones o normas, y desde este factor es en donde se ha concentrado las investigaciones para contribuir a este manejo pesquero participativo en el país. El co-manejo busca integrar a todos los actores involucrados en el sector pesquero, fortaleciendo los procesos de gobernanza.

El proyecto a través del cual se ha trabajado desde el grupo de investigación en esta temática se denomina: En Busca de un manejo pesquero participativo en Colombia. Este proyecto se ha venido realizando a través del tiempo, en los años 2008 a 2012, 2015 y 2021, desarrollándose así durante tres diferentes etapas. El proceso ha respondido a una dinámica en donde se ha trabajado en conjunto con las comunidades para poder entender hacia dónde se deben guiar las investigaciones y realmente aportar un conocimiento que responda a las necesidades locales. Esta es otra forma de hacer investigación, denominada investigación participativa. También se han aplicado metodologías cualitativas usadas en cada etapa, las cuales permiten obtener información a partir del conocimiento ecológico local de los pescadores y del conocimiento de los expertos.

En esta primera etapa, se buscó responder ¿cuáles eran los principales problemas que enfrentaba la pesca artesanal marino-costera en Colombia? y si ¿el co-manejo era una solución a futuro o no? En todas las etapas se ha trabajado con las mismas comunidades, a partir de las unidades ambientales costeras que se tienen distribuidas a lo largo de la costa, tanto en el Caribe como en el Pacífico. Para el diseño de muestreo, se escogieron cinco comunidades piloto en el Caribe y cuatro en el Pacífico. En cada comunidad se aplicaron metodologías participativas, a nivel individual con entrevistas (en esta etapa se tuvo 315 participantes entre pescadores, líderes y expertos de la pesca). Además, se realizaron aproximaciones comunitarias que están más enfocadas hacia espacios abiertos de discusión, en donde la comunidad tiene la posibilidad de reflexionar sobre diferentes temas, en este caso, se discutió la problemática pesquera que estaba afectando la comunidad y cuál era la visión de ellos hacia el ordenamiento pesquero. Toda esta información cualitativa se transformó en información cuantitativa para así poder hacer análisis que permitieran entender lo que está sucediendo desde la visión de estas tres voces, dentro del proceso: pescadores, líderes comunitarios y expertos de las diferentes entidades ambientales. Al correr el análisis se encontró que, a nivel nacional, las nueve comunidades piloto identificaron 556 problemas en total. Cada actor postuló unos problemas en particular, desde su relación o rol en la pesca. Para facilitar la comprensión de estos problemas, se agregaron en 17 categorías



FIGURA 8.4. Esquema representando la situación actual del manejo pesquero en Colombia y un escenario a futuro si el país decide implementar la estrategia del co-manejo.

FUENTE: MODIFICADO DE BERKES ET AL. (2001) Y POMEROY Y RIVERA-GUIEB (2006).

principales, y así se pudo visibilizar que varios de sus problemas están distribuidos a nivel nacional (en ambas costas), otros afectan solo la costa Caribe, y otros la costa Pacífica y finalmente otros son específicos para cada comunidad. En la Figura 8.5 se observan los diferentes análisis estadísticos que se realizan con este tipo de información (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015). Con base en los 556 problemas, encontramos 38 que son prioritarios, que fueron transversales para los tres actores y para todas las comunidades. A partir de estos 38 problemas, se crearon tablas de contingencia para entender cuál era el nivel de importancia que le daba cada actor a cada problema y si variaba ese nivel de importancia entre regiones. Además, se usaron los análisis de redundancia para comprender las relaciones entre actores, regiones y problemas. Los resultados de esta primera etapa se han publicado y si alguno desea verlos en profundidad los invito a que consulten los artículos que están allí citados (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; 2016). Sin embargo, extraigo del primer artículo, la gráfica (Figura 8.5) que nos permite ver las relaciones existentes entre los problemas, los tres actores y las regiones.

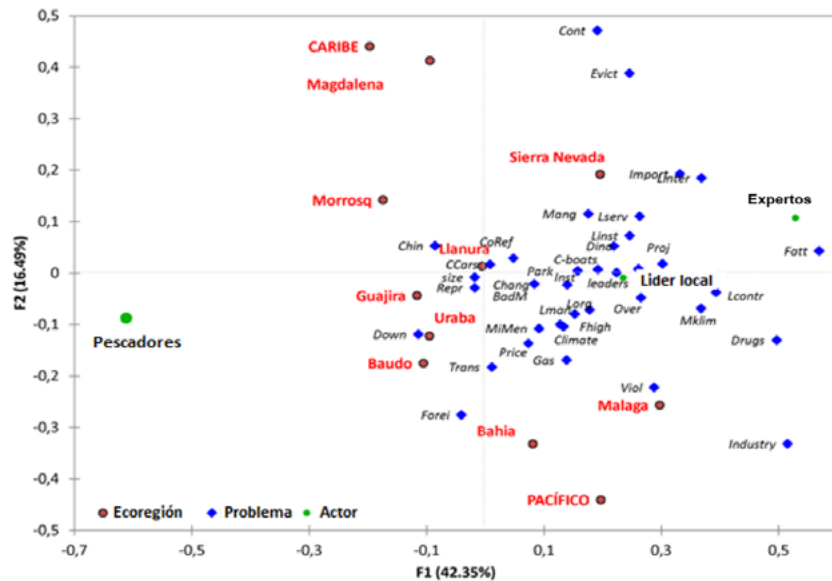


FIGURA 8.5. Análisis de redundancia de los 38 problemas principales obtenidos en las entrevistas relacionados a actores y a eco-regiones (variables explicativas). El eje X (F1) representa 42.35% y el eje Y (F2) el 16.49% de variación.

FUENTE: MODIFICADO DE SAAVEDRA-DÍAZ ET AL. (2015).

Respecto a los actores observamos que la visión que tienen los expertos y los líderes es muy parecida, mientras que la visión de los pescadores es opuesta. En la figura se ubican en lados opuestos y por lo tanto nos deja ver la importancia de tener en cuenta la visión de todos los actores y no de uno solo, porque de esta forma se complementan y se enriquece el conocimiento obtenido. También, se encontraron diferencias claramente marcadas entre los problemas que afectan a las comunidades de pescadores localizadas en la costa Caribe, y los problemas que afectan a las comunidades en el Pacífico. Aunque cada costa presenta sus propias particularidades, así mismo tienen problemas en común, siendo uno de ellos la falta de ordenación y regulación que es postulado por todas las comunidades con las que hemos trabajado.

A partir de estos resultados, se hizo el mismo ejercicio con respecto a cuáles eran las soluciones que ellos veían ante todos estos problemas, y fue interesante encontrar que los tres sectores apuntan a una solución transversal a todos estos problemas, que era la necesidad de establecer regulaciones o normas en el sector pesquero (Saavedra-Díaz *et al.*, 2016). Por consiguiente, se hizo una reunión con ellos para discutir qué debilidades encontraban para poder avanzar en esa ordenación pesquera que estaban pidiendo, y aquí vemos un listado que nos permite evidenciar como todas las comunidades se encuentran en diferentes “estados de madurez”, lo que se denominó de esa forma para comprender que no todas las comunidades están al mismo nivel para hacer manejo pesquero u ordenamiento. Todas tienen debilidades, unas más que otras, pero todas al unísono creen en la urgencia de ordenar el territorio pesquero estableciendo unas normas o reglas claras. Así mismo, en estos espacios abiertos de discusión, ellos mismos compartieron algunas reglas informales que establecieron internamente a nivel comunitario. A partir de estos resultados, surgió la pregunta: ¿cuáles eran los principios de ordenación en los que se deberían enfocar sus esfuerzos para aportarle a la comprensión de la aplicación esas reglas? Es así como en el 2012, se realiza un ejercicio con los pescadores

en un taller nacional, donde se hizo una priorización sobre en dónde deberían ellos concentrar sus voluntades. Luego a partir de algunos espacios abiertos de discusión con las comunidades, expresan su necesidad para capacitarse y entender cuáles son esas medidas (regulaciones) de manejo que cada comunidad podría implementar en sus territorios.

En consecuencia, se diseñaron unas capacitaciones para poder explicarles a ellos cuáles eran las medidas que se usaban en diferentes partes del mundo (Selig *et al.*, 2016). Para esto se hicieron talleres didácticos para las comunidades, en donde ellos a través del juego y de la reflexión aprendieron sobre las 15 medidas. Estaban divididas en tres componentes, aquellas que se enfocan a ordenar el territorio, medidas específicamente para manejar los recursos pesqueros y medidas que se enfocaban específicamente en el esfuerzo pesquero. En estos talleres participativos, ellos votaban individualmente en un tarjetón con las 15 medidas de manejo, en donde, así como votan por gobernantes, votaron por la medida que querían implementar en sus comunidades a través de un proceso democrático. En la Figura 8.6 se observan en los resultados de la segunda fase del proyecto (año 2015) las medidas que obtuvieron mayor votación en cada una de las comunidades involucradas (Caribe y Pacífico). En cada comunidad, luego de mostrarles los resultados de la votación, entre todos llegaban a un consenso para elegir entre aquellas medidas con mayor votación, la de mayor popularidad. Luego, cada comunidad eligió tres líderes por comunidad para que los representara en el taller nacional, y así ellos presentaran ante la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), la medida que deseaban implementar en su comunidad.

Hasta ese momento (año 2015) aún no había claridad de cómo se debían realizar los procesos de ordenamiento pesquero en Colombia. No obstante, la historia cambia en el año 2019, con la creación de la Resolución 586 de AUNAP, en donde se establecen los lineamientos para realizar la ordenación pesquera en el país, teniendo en cuenta tres etapas: diagnóstico, formulación

e implementación. A partir de esta resolución en el año 2020, y en alianza entre la Universidad del Magdalena y la AUNAP, regresamos a las comunidades para validar las medidas que habían elegido y en el marco de la resolución y así establecer acuerdos de manejo pesquero entre la Autoridad y las comunidades, para que se transformen en resoluciones o actos formales que le aporten a la ordenación en el país. Sin embargo, observan en la diapositiva (Figura 8.6) que en esta tercera etapa hay signos de interrogación porque la situación del COVID-19 no ha permitido culminar la etapa de campo.

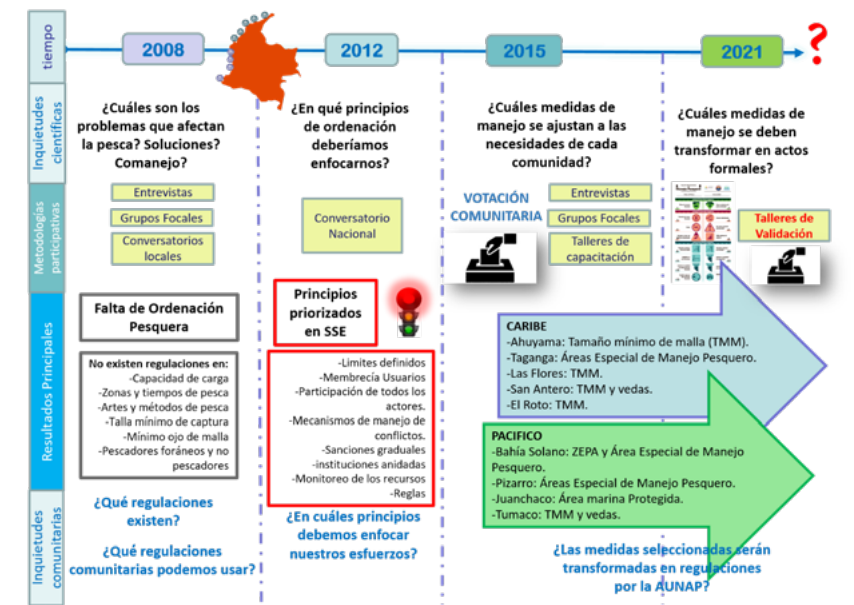


FIGURA 8.6. Línea de tiempo de las actividades realizadas durante las etapas del proyecto “En Busca de un Manejo Pesquero Participativo en Colombia” desde 2008 hasta 2021 (aún en proceso) liderado por la Universidad del Magdalena en alianza con nueve comunidades de pescadores y AUNAP.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A manera de conclusión, es clave descentralizar el manejo pesquero para aportarle directamente a fortalecer la gobernanza del sector, y así mismo tener en cuenta de manera transparente a todos los usuarios que están involucrados en la pesca para tomar decisiones correctas (Saavedra-Díaz *et al.*, 2015; 2016; Jiménez y Saavedra-Díaz, 2019; Botto-Barrios y Saavedra-Díaz, 2020).

REFERENCIAS

- BOTTO-BARRIOS D. Y SAAVEDRA-DÍAZ, L. M. (2020). Assessment of Ostrom 's social-ecological system framework for the comanagement of small-scale marine fisheries in Colombia: from local fisher 's perspectives. *Ecology and Society* Vol. 25 (1): 12. doi.org/10.5751/ES-11299-250112.
- BERKES, F., MAHON, R., MCCONNEY, P., POLLNAC, R. Y POMEROY, R. (2001). *Managing Small-Scale Fisheries-Alternative Directions and Methods*. Ottawa: International Development Research Centre.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2015. *Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/guidelines/es/
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2022. *Voluntary Guidelines for Securing Sustainable Small-Scale Fisheries in the Context of Food Security and Poverty Eradication*. https://www.fao.org/voluntary-guidelines-small-scale-fisheries/guidelines/en/ [Accessed: July 2022].
- JIMÉNEZ, J. Y SAAVEDRA-DÍAZ, L. M. (2019). Evaluating formal and informal rules as a basis for implementing coastal marina artisanal fisheries management in Colombia. *Marine Policy*. Vol. 101: 225 - 236. doi.org/10.1016/j.marpol.2018.09.019.
- MCCONNEY, P., POMEROY, R. Y MAHON, R. (2003). *Guidelines for coastal resource co-management in the Caribbean: communicating the concepts and conditions that favour success*. Caribbean Conservation Association (CCA), University of the West Indies, Centre for Resource Management and Environmental Studies (CERMES), and Marine Resources Assessment Group Ltd., 56 p.
- MORA, C., MYERS, R. A., COLL, M., LIBRALATO, S., PITCHER, T. J., SUMAILA R. U., ZELLER, D., WATSON, R., GASTON, K. J., Y WORM, B. (2009). Management Effectiveness of the World's Marine Fisheries. *PLoS Biol* 7(6): e1000131. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000131.
- OSTROM, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325(5939):419-422. https://doi.org/10.1126/science.1172133.
- POMEROY, R. Y RIVERA-GUIEB, R. (2006). *Fishery Co-Management: A Practical Handbook*. doi:10.1079/9780851990880.0000
- PITCHER, T., KALIKOSKI, D., PRAMOD, G. Y SHORT, K. (2009). Not honouring the code. *Nature*, 457: 658-659. https://doi.org/10.1038/457658a.
- SELIG, E., KLEISNER, K. M., AHOOBIM, O., AROCHA, F., CRUZ-TRINIDAD, A., FUJITA, R., HARA, M., KATZ, L., MCCONNEY, P., RATNER, B. D., SAAVEDRA-DÍAZ, L. M., SCHWARZ, A. M., THIAO, D., TORELL, E., TROËNG, S. Y VILLASANTE, S. (2016). A typology of fisheries management tools: using experience to catalyse greater success. *Fish and Fisheries*, Vol. 18 (3): 543-570. doi:10.1111/faf.12192.
- SAAVEDRA-DÍAZ, L. M., ROSENBERG A. Y MARTÍN-LÓPEZ, B. (2015). Social perceptions of Colombian small-scale marine fisheries conflicts: Insights for management. *Marine Policy*, Vol. 56: 61 - 70. doi:10.1016/j.marpol.2014.11.026.
- SAAVEDRA-DÍAZ, L. M., POMEROY, R. Y ROSENBERG, A. A. (2016). Managing Small-Scale Fisheries in Colombia. *Maritime Studies Journal*. *Maritime Studies*, Vol. 15 (6): 1 - 21. doi: 10.1186/s40152-016-0047-z.



LA PESCA ARTESANAL MARINA EN EL PACÍFICO COLOMBIANO - PERCEPCIONES Y DESAFÍOS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

► **John Josephraj Selvaraj¹ y Maria Alejandra Cifuentes Ossa²**

*¹Director Instituto de Estudios del Pacífico - IEP, Profesor Asociado,
Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
jjselvaraj@unal.edu.co*

*²Investigadora, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
macifuentes@unal.edu.co*

Introducción

Pensar sobre las percepciones y desafíos que surgen a raíz del cambio climático en el territorio Nacional, plantea la necesidad de vincularse directamente con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para la población colombiana, en los cuales la pesca y la acuicultura contribuyen de una forma u otra en el alcance de los mismos; teniendo la pesca una especial importancia en el ODS 14: Vida submarina -Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible- (ONU, 2015). Desde 1961, el crecimiento anual mundial del consumo de pescado ha duplicado el crecimiento demográfico, lo que demuestra que el sector pesquero es fundamental para alcanzar la meta de la FAO “Un mundo

sin hambre ni malnutrición” (FAO, 2018). En la producción total mundial, el pescado alcanzó en 2018 un máximo histórico de 179 millones de toneladas, considerando la captura y el cultivo de peces en aguas marinas y continentales (ONU, 2020; FAO, 2020).

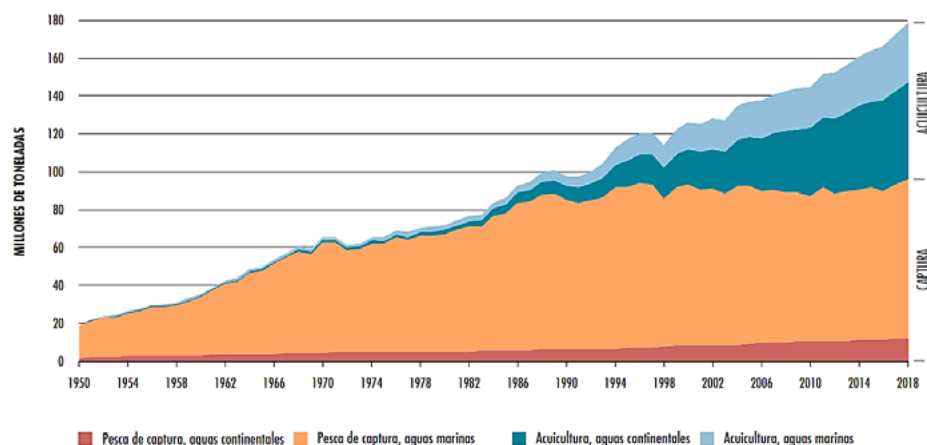


FIGURA 9.1. Producción mundial (captura) histórica de pesca de captura y la acuicultura de 1950 a 2018. *Nota: en la figura se excluyen los mamíferos acuáticos, cocodrilos, lagartos y caimanes, las algas y otras plantas acuáticas. FUENTE: FAO (2020).

De acuerdo con la FAO (2020), la producción pesquera mundial en 2018 alcanzó una cifra récord de 96,4 millones de toneladas, lo que supone un aumento de 5,4% con respecto al promedio de los tres años anteriores (Figura 9.1). Los siete países con mayor producción pesquera en el mundo son: China, Indonesia, Perú, India, Rusia, Estados Unidos y Vietnam, que representan el 50% de la captura de peces (EOM, 2020). Por su parte, la producción acuícola alcanzó el récord histórico de 114,5 millones de toneladas de peso vivo en 2018 y la producción mundial de animales acuáticos cultivados ha estado dominada nuevamente por el continente Asiático (FAO, 2020) (Figura 9.2).

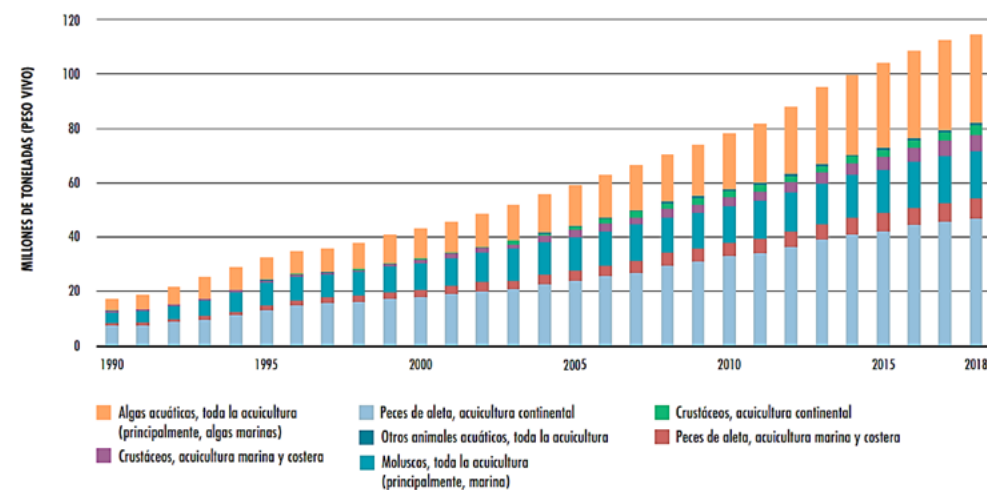


FIGURA 9.2. Producción acuícola histórica mundial de animales acuáticos y algas de 1990 a 2018.

FUENTE: FAO (2020).

En el período 1961 - 2017 la tasa media de crecimiento anual de consumo total de pescado comestible aumentó un 3,1%, superando la tasa de crecimiento anual de población, la cual es 1,6% (FAO, 2020). En valores de per cápita, el consumo de pescado comestible aumentó de 9 kg en 1961 a 20,3 kg en 2017 y la estimación de consumo de pescado per cápita en 2018 alcanzó los 20,5 kg (Figura 9.3). La expansión del consumo –en el contexto mundial- ha sido impulsada no sólo por el aumento de la producción, sino también por la combinación de factores como: el avance tecnológico, el aumento de los ingresos percibidos por la población, la reducción de las pérdidas o el desperdicio y también la mayor conciencia de los beneficios del pescado. Si hablamos sobre Colombia, el consumo per cápita es muy bajo, sólo de 6,7 kg comparado con 20,5 kg de promedio mundial. Sin embargo, el consumo per cápita del Pacífico colombiano es una excepción; en dónde alcanza los 271 kg/año, siendo los recursos pesqueros la base alimentaria de estas comunidades.

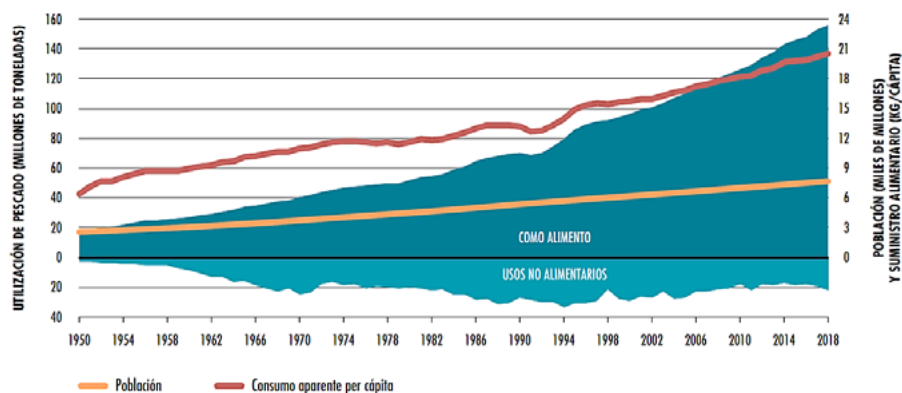


FIGURA 9.3. Utilización y consumo aparente histórico de pescado a nivel mundial de 1950 a 2018. *Nota: en la figura se excluyen los mamíferos acuáticos, cocodrilos, lagartos y caimanes, las algas y otras plantas acuáticas.

FUENTE: FAO (2020).

De acuerdo con la FAO (2020), en el año 2018 aproximadamente 59 millones de personas trabajaron en el sector primario de la pesca y la acuicultura. De este valor, el 14% eran mujeres; es decir, 8,33 millones de mujeres contribuyeron al desarrollo de la actividad económica y de sustento, proveyendo mano de obra para los recursos capturados y ejerciendo la recolección manual de crustáceos y moluscos. En términos generales el mayor número de pescadores y acuicultores se encuentra en Asia, en donde se estima alrededor del 85% del total mundial, seguido de África con el 10% y América Latina con el 4%.

Cuando hablamos de pesca estamos hablando indirectamente sobre biodiversidad. El Pacífico colombiano tiene más de 867 especies diferentes, de las cuales alrededor de 345 son consideradas comercialmente importantes. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) al menos 49 especies están en el libro rojo de peces marinos de Colombia (con clasificación en peligro de extinción). En este sentido y partiendo del conocimiento que Colombia es un país megadiverso, surge la inquietud sobre por qué aún son pocos los estudios de investigación científica en temas de prospección pesquera para nuevas especies reconocidas de importancia social, económica y comercial para las comunidades

y el territorio. Considerando además que, éste tipo de estudios, hacen un aporte importante a la toma de decisiones del sector, puesto que permiten poner en evidencia que la cantidad de capturas y las capturas por unidad de esfuerzo van en descenso (OCDE, 2016). También indican que la capacidad de infraestructura para la pesca no suele ser adecuada y suficiente, y todo esto se reduce a la conclusión, de que estas condiciones son limitantes para que Colombia sea un país pesquero con un nivel competitivo, acorde a los estándares mundiales.

En cuanto a la planta de patentes vigentes -pese a que esta información no es muy actual- (Figura 9.4), evidencia que para el año 2016 habían 69 embarcaciones colombianas contra 23 de banderas extranjeras, y con relación a la pesca de atún, 14 naves colombianas y 21 extranjeras dedicadas a esta captura (PORTAFOLIO, 2016); sin considerar las embarcaciones de pequeña envergadura y menor autonomía que operan frecuentemente en las costas colombianas y no han sido clasificadas en estos tipos.

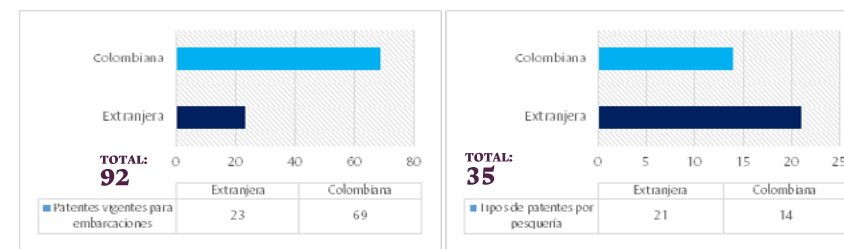


FIGURA 9.4. Patentes vigentes para embarcaciones y tipos de patentes por pesquería al año 2016.

FUENTE: MODIFICADO DE PORTAFOLIO (2016).

Colombia es un país que en su mayoría desarrolla la pesca tipo artesanal, o la más conocida en el contexto internacional como pesca a pequeña escala. La pesca artesanal representa diversas ventajas en comparación con la pesca industrial; por ejemplo, el número de empleos que se estiman en el mundo a razón de pesca industrial o de a gran escala es alrededor de 2 millones de personas (Isaacs, 2016), mientras que la pesca a pequeña escala se estima, emplea más de 30 millones de personas alrededor del mundo.

La Tabla 9.1, se observa una comparación que permite hacer un análisis entre los dos tipos de pesca; por ejemplo, aunque la cantidad de pescado capturado para el consumo humano se estima como el mismo, las inversiones de capital en ambas actividades son bastante diferenciadas, siendo mucho mayor para la pesca industrial; en un buque pesquero los costos suelen calcularse entre 30.000 y 300.000 dólares, pero para la pesca a pequeña escala es de entre 100 y 3.000 dólares.

TABLA 9.1. VENTAJAS PARA LA PESCA A PEQUEÑA ESCALA (ARTESANAL) EN COMPARACIÓN CON LAS OPERACIONES DE PESCA A GRAN ESCALA (INDUSTRIAL).

VENTAJAS	PESCA ARTESANAL (A PEQUEÑA ESCALA)	PESCA INDUSTRIAL
Número de pescadores empleados	Más de 30 millones	Alrededor de 2 millones
Pescado marino capturado para consumo humano	Alrededor de 40 millones de toneladas anualmente	Alrededor de 40 millones de toneladas anualmente
Costo de capital por faena en embarcación pesquera	\$100 hasta \$5.000 dólares	\$30.000 hasta \$300.000 dólares
Captura incidental descartada al mar	Alrededor de 2 millones de toneladas anualmente	Alrededor de 5 millones de toneladas anualmente
Pescado marino capturado para reducción industrial a carne, aceite, etc.	Casi ninguna	Alrededor de 15 millones de toneladas anualmente
Consumo de combustible	3 hasta 15 millones de toneladas anualmente	30 hasta 40 millones de toneladas anualmente
Pescado desembarcado por tonelada de consumo de combustible	3 a 15 toneladas	1 a 2 toneladas
Pescadores empleados por cada \$ 1 millón (dólares) invertido en embarcaciones pesqueras	200 a 10.000	3 a 30

FUENTE: MODIFICADO DE ISAACS (2016).

Si se analiza el tema de la captura incidental que se descarta en el mar, se puede apreciar (Tabla 9.1) cómo la pesca industrial descarta cerca de 5 millones de toneladas anualmente, mientras que la pesca artesanal descarta alrededor de 2 millones de toneladas anualmente, esto además de generar un impacto económico importante, representa una afectación desigual a los ecosistemas marinos. Además, los peces marinos capturados para la reducción industrial a carne y aceite, son 15 millones de toneladas al año en las pesquerías a gran escala y casi ninguna en las de pequeña escala. En términos de consumo de combustible, se estiman entre 30 y 40 millones de toneladas anuales para la pesca industrial, mientras en pesca a pequeña escala sólo se consumen entre 3 a 15 millones de toneladas anuales de combustible. También un tema importante, hace referencia a los pescadores empleados por cada millón invertido en buques pesqueros, pues la pesca industrial sólo genera entre 3 a 30 empleos, mientras que la pesca a pequeña escala logra emplear entre 200 a 10.000 personas por cada millón invertido (Isaacs, 2016).

En Colombia, es posible caracterizar varios tipos de embarcaciones pesqueras, entre las cuales se encuentran las motonaves a pequeña escala. De acuerdo con Suárez *et al.* (2017), el Pacífico colombiano tiene un número considerable de estas embarcaciones con tamaños mayores a 10 m de eslora -longitud de una embarcación desde la proa a la popa-, sin embargo, el número de motonaves mayores a 10 m de eslora con permiso para pescar, vigente en Colombia es de 74 (Figura 9.5A), es decir, que 35 motonaves no cuentan con permiso para operar (Figura 9.5B). De manera complementaria se estima que miles de embarcaciones pequeñas pescan a lo largo de todo el Pacífico para su seguridad alimentaria.

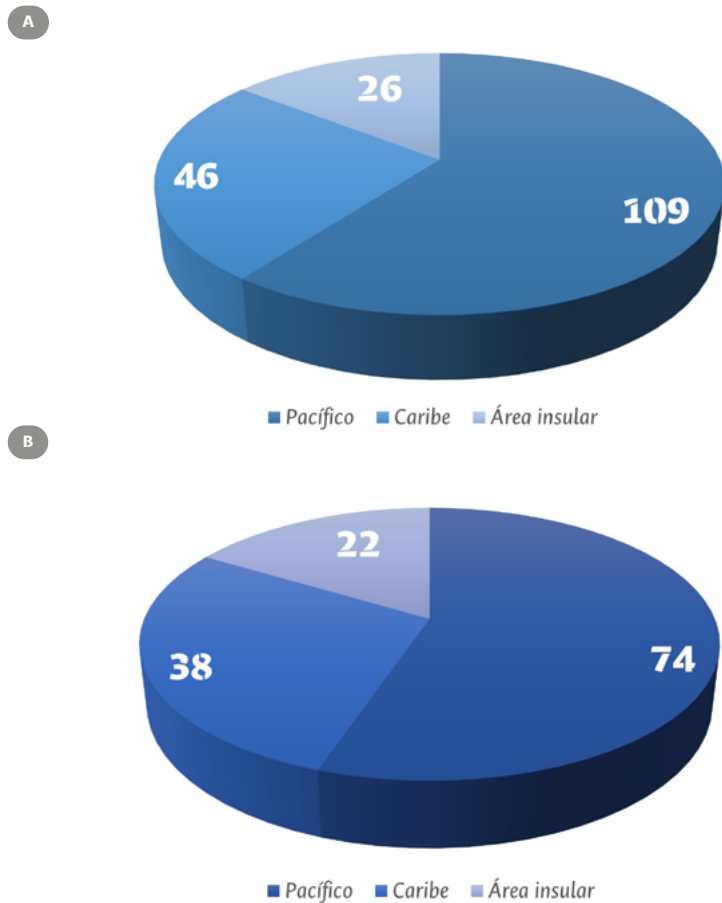


FIGURA 9.5. A. Número de motonaves mayores a 10 metros de eslora en las tres regiones marinas de Colombia. B. Número de motonaves mayores a 10 m de eslora con permiso de pesca vigente.

FUENTE: SUÁREZ ET AL. (2017).

En la Figura 9.6 se presenta una síntesis en esquema de la configuración de la cadena de valor del sector pesquero en el litoral del Pacífico colombiano. A primera vista, se observa compleja, por lo que es posible subdividirla en seis (6) etapas o eslabones principales: proveedores de insumos, captura o extracción, acopio, transformación, comercialización y clientes finales. Iniciando con el proveedor de insumos están los proveedores de bienes de capital, materiales para pesca, créditos a corto plazo y también proveedores de energía. Posteriormente se considera la captura o extracción, en este punto el pescador es la pieza fundamental

o actor clave, quien realiza con sus artes o métodos, capturas de pesca blanca, crustáceos y/o moluscos. Luego, se encuentra el centro de acopio en donde se clasifican los peces por talla y especies, además se pesan y se almacenan en espacios que garantizan su conservación como congeladores o refrigeradores (cadena de frío). Posteriormente se encuentra el proceso de transformación (en donde se realizan procesos que incluyen el fileteado, descabezado, descascarado y desvenado de las especies en función de las necesidades y especificidad de métodos de comercialización), para seguidamente iniciar la etapa de comercialización, que se da en algunos casos directamente al mercado y en una gran mayoría -para los pescadores artesanales- por medio de los intermediarios.

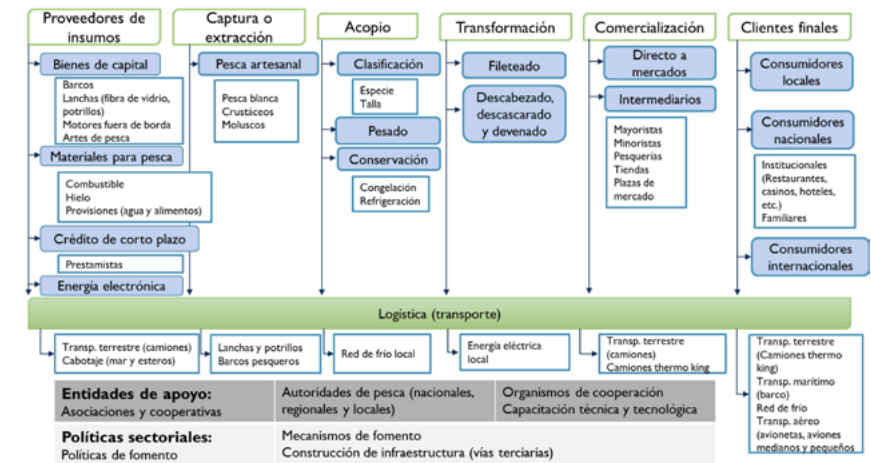


FIGURA 9.6. Configuración de la Cadena de Valor del Sector Pesquero del Litoral Pacífico colombiano.

FUENTE: MODIFICADO DE CNP (2016).

Después, entran en la cadena de valor los clientes finales, que se estiman en alrededor del 66% de consumidores locales y el restante suelen ser consumidores nacionales y algunos casos internacionales. Para cada uno y en todos los subprocesos, se requiere un tema transversal y es la logística; que puede estar integrada por transporte terrestre, red de frío, lanchas y transporte aéreo. Como entidades de apoyo se reconocen a las asociaciones y cooperativas junto con las autoridades de pesca y en

algunos casos, también apoyan algunos organismos de cooperación para el caso de la cadena productiva pesquera del Pacífico colombiano.

Como bien se percibe (Figura 9.6), la cadena de valor del sector pesquero es un proceso en flujo, por lo que, si algún eslabón de esta cadena falla, directamente se verá afectado el producto final. Existen muchos cuellos de botella en la cadena de valor de todo el Pacífico, pero son especialmente reconocidos para el sector pesquero en la región, los siguientes:

- *Los insumos, caracterizados por la escasez y los altos costos*
- *La falta de dotación de medios que faciliten las faenas de pesca*
- *El acopio ausente o deficiente*
- *Los procesos de transformación con bajos estándares de calidad y costosos o incluso ausentes*
- *La comercialización sin garantías y sin posicionamiento*
- *La logística costosa, deficiente e insegura*

También existen otros aspectos que influyen y son determinantes como: la sobrepesca y el cambio climático.

Enfocándose entonces en este último tema (cambio climático) y a manera de reflexión: *¿cómo afecta el cambio climático a la pesca marina?*

Se ha estado trabajando en iniciativas con el apoyo del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias), con el objeto de identificar los posibles impactos del cambio climático en la actividad pesquera y cómo perciben estos cambios las comunidades pesqueras

del Pacífico colombiano. Primero, se informó a la comunidad sobre qué es el cambio climático y los principales efectos en la región y en la actividad pesquera marina; empleando mecanismos de co-creación y divulgación participativa, por ejemplo, los siguientes:

El siguiente producto forma parte del proyecto de investigación “Impactos del cambio climático en la producción pesquera y su biodiversidad en el Pacífico colombiano” ejecutado por el Grupo de Investigación en Recursos Hidrobiológicos de la Facultad de Ingeniería y Administración de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), con recursos del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas – Colciencias (hoy Minciencias) CTO 067 de 2016.

Video: “El cambio climático y su efecto en la pesca marina del Pacífico colombiano” <https://www.youtube.com/watch?v=DmPFm07tkjA>: “En los últimos años el clima ha cambiado bastante, últimamente hace más calor y cuando llueve es más fuerte. Eso pasa principalmente porque al aumentar el número de personas en el mundo, también incrementa el número de carros, barcos, aviones, fábricas, cultivos y ganado. Estas actividades emiten muchos gases que se acumulan en el aire y hacen que el calor se quede encerrado en la atmósfera. Normalmente el exceso de calor debería salir al espacio, pero la gran cantidad de gases llamados gases de efecto invernadero, no permiten que salga. Por esto la temperatura aumenta y eso es lo que llamamos calentamiento global, pero el calentamiento global no solo se siente en la tierra, también se siente en el mar, al calentarse el aire que está sobre el mar, el agua también se calienta y esto trae varios cambios, por ejemplo, las especies de peces y otras especies que viven allí y reaccionan de diferentes maneras, algunas pueden adaptarse rápido a ese calentamiento del agua y seguir viviendo donde estaban, otras se van buscando aguas más frías que se parezcan más a donde ellas han vivido siempre y otras especies simplemente no alcanzan a adaptarse o irse y mueren. Esto afecta a la actividad de la pesca, especialmente a los pescadores artesanales que utilizan barcos medianos o pequeños y que no pueden recorrer grandes distancias para buscar los peces, teniendo como consecuencia, en algunos casos, que disminuya la cantidad de peces disponibles, lo que pondría en riesgo la seguridad alimentaria de la población y disminuiría los ingresos económicos. Considerando lo anterior, para

entender cómo nuestro clima cambiaría en el futuro, un grupo de científicos del panel intergubernamental de cambio climático se planteó varios escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero: el primero fue un escenario de mitigación llamado RCP 2.6 en el cual se tomarían medidas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, en este escenario la temperatura tuvo un aumento moderado hacia el futuro sin exceder los dos grados centígrados; el segundo fue un escenario intermedio llamado RCP 4.5, en este caso las emisiones de gases de efecto invernadero se estabilizarían un poco luego de 2100, la temperatura muy probablemente exceda los dos grados centígrados; por último plantearon un escenario RCP 8.5, en el cual la emisión de gases aumentaría en grandes cantidades, en este último caso encontraron que la temperatura incrementaría considerablemente y podría exceder los cuatro grados centígrados. Todos los incrementos son relativos a la temperatura del periodo 1986-2005. Los científicos han demostrado que en las zonas tropicales del mundo, como donde se encuentra Colombia, la temperatura podría aumentar considerablemente, por lo tanto nuestros mares también se calentarán afectando a las especies marinas que viven allí, por ejemplo, en nuestro océano pacífico colombiano hemos visto que según las proyecciones la temperatura podría aumentar hasta tres grados en el periodo 2080 y creemos que eso puede generar un impacto en la disponibilidad de aprovechamiento pesquero en esta región. Por esto hay que conocer lo que podría pasar con algunas especies importantes para la pesca en nuestro Pacífico colombiano y explorar estrategias de adaptación. Este vídeo hace parte del proyecto de investigación impactos del cambio climático en la producción pesquera y su biodiversidad en el Pacífico colombiano de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, financiado por Colciencias (hoy Minciencias)”

El siguiente producto forma parte del proyecto de investigación “Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la pesquería marina de Tumaco – Departamento de Nariño” ejecutado por el Grupo de Investigación en Recursos Hidrológicos de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira y el Instituto de Estudios del Pacífico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Tumaco. Proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), con recursos de la Gobernación de Nariño, en el marco de la Convocatoria 818 de 2018 I+D+i NARIÑO mediante CTO 80740-607-2019.

Vídeo: “Efectos del cambio climático en la pesca artesanal marina – Pacífico

nariñense” <https://goo.su/ydd8H>” <https://goo.su/ydd8H>: “¡Hola soy Oscar! Pescador artesanal del Pacífico Nariñense. El día de hoy vengo a hablar sobre el cambio climático y como nos puede afectar en nuestra vida diaria y en la pesca. La temperatura del planeta está subiendo y esto está generando muchas consecuencias. Por ejemplo, ya podemos ver con más frecuencia graves sequías, inundaciones y tormentas más fuertes. En el océano, los efectos del cambio climático los podemos reconocer en tres formas principales. La primera es por el incremento de la temperatura del agua. Al aumentar la temperatura del agua en el océano, se afecta la forma de vida de las especies marinas que son delicadas a los cambios de temperatura, como por ejemplo los corales. El segundo efecto del cambio climático en los océanos se hace notar por medio del nivel del mar, ya que ahora éste es más alto que antes y seguirá aumentando debido al derretimiento de los polos. El último efecto es el aumento de la acidez en el océano, que viene incrementando considerablemente debido a las grandes cantidades de dióxido de carbono o CO₂ que absorbe. Para conocer cómo el cambio climático afectará nuestra actividad pesquera, la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira, realizó una investigación sobre la distribución geográfica de 12 especies marinas de interés comercial para la región. Este estudio se realizó para dos escenarios de cambio climático; el primero es el escenario RCP 2.6 que comprende un futuro en el cual la humanidad cambia su estilo de vida para reducir los gases de efecto invernadero en el planeta. A este escenario se le conoce como el de mitigación. El segundo escenario es el RCP 8.5, el cual refleja un futuro de incremento en los gases de efecto invernadero, pues se espera que la sociedad siga quemando combustibles fósiles. Este escenario se conoce como el de incremento. El estudio también contempló dos escalas de tiempo; el mediano plazo que comprende el periodo entre el año 2036 al 2065, llamado 2050 y el largo plazo que comprende el periodo entre el 2066 al 2095, el cual llamamos 2080. Los resultados muestran que varias de las especies estudiadas presentarán cambios negativos o desplazamientos, alejándose de la costa o a mayores profundidades. Por ejemplo, en el grupo de las especies pelágicas, éste sería el caso para la Sierra a 17 m y 54 m de profundidad, que se alejará de la zona costera a futuro. En el grupo de especies bentopelágicas, se presentarían cambios negativos con el Pargo rojo, que fue evaluado a 17, 41 y 61 m de profundidad. Los resultados muestran que a 17 m se podría desplazar hacia el sur de la zona costera y en las demás profundidades se desplazaría hacia mar abierto. En el grupo de especies demersales, la Pelada que fue estudiada a 17 y 27 m de profundidad, presentarían cambios negativos, alejándose de la costa. La información adicional sobre las demás especies estudiadas puede ser consultada en el geovisor Geopesca Tumaco. Todos estos cambios en las especies pesqueras contribuyen a nuestra afectación y vulnerabilidad. La vulnerabilidad ante el cambio climático se puede entender como el nivel de exposición o riesgo que tienen los pescadores ante los cambios en la distribución de los peces, su

sensibilidad (o posibilidad) a verse afectados por dichos cambios y el grado de capacidad de adaptación que tienen para hacer frente a estos efectos. Nosotros, los pescadores del Pacífico nariñense somos vulnerables ante los efectos del cambio climático por los cambios en la distribución de las especies, ya que más del 75% de nosotros no contamos con los equipos que nos permitan adaptarnos y desplazarnos mayores distancias para lograr una buena faena de pesca. Conocer y comprender nuestra vulnerabilidad al cambio climático es clave para dar un paso adelante hacia la adaptación, construyendo juntos como comunidad medidas que nos ayuden a afrontar estos efectos”.

En el marco de la información de carácter académico e investigativo que se construye para y con las comunidades, se realizaron procesos de modelación empleando proyecciones climáticas globales, bases de datos de sensores remotos y variables reanalizadas oceanográficas y climáticas, aprendizaje automático e inteligencia artificial; para identificar la distribución potencial actual y futura de las principales especies de peces marinos de importancia pesquera, comercial y para la seguridad alimentaria de la región Pacífica nariñense (Selvaraj, Rosero-Henao y Cifuentes-Ossa, 2022). Los resultados de estos estudios han sido divulgados con los pescadores mediante jornadas locales en sus territorios de hábitat e influencia, además de transmitida mediante vídeos como los mencionados anteriormente y empleando mecanismos de transferencia y apropiación social y participativa de los resultados alcanzados.

La síntesis de resultados mencionados previamente y a continuación, forman parte del proceso investigativo que se desarrolló en el marco del proyecto de investigación “Evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la pesquería marina de Tumaco - Departamento de Nariño” ejecutado por el Grupo de Investigación en Recursos Hidrobiológicos de la Facultad de Ingeniería y Administración de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira y el Instituto de Estudios del Pacífico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Tumaco. El proyecto es financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), con recursos de la Gobernación de Nariño,

en el marco de la Convocatoria 818 de 2018 I+D+I NARIÑO mediante CTO 80740-607-2019.

Partiendo de la base de identificación de los posibles impactos del cambio climático, se inició identificando la vulnerabilidad de las comunidades en Tumaco y otros municipios costeros del Pacífico nariñense. Se realizó un proceso de recolección de información sociodemográfica, ambiental, económica y de percepción del cambio climático con los pescadores y se obtuvieron entre otros, los siguientes resultados importantes. Se realizaron mecanismos de recolección de información participativa con más de 300 pescadores en Tumaco y otros municipios costeros cercanos, permitiendo encontrar que la comunidad de pescadores se encuentra distribuida en áreas urbanas y rurales de Tumaco como El Chajal, Bucheli y Bajito Vaquería. También se sondeó la percepción de pescadores de municipios costeros cercanos como Mosquera, Francisco Pizarro y Bocas de Satinga.

Es importante mencionar que el 90% de pescadores encuestados fueron hombres, mostrando una marcada tendencia en la división sexual del trabajo de pesca en Tumaco y la región. Sin embargo, no fueron incluidos los recolectores de piangua que suelen desempeñar sus labores en los ecosistemas de manglar y siendo esta actividad principalmente realizada por mujeres. La mayoría de la población pesquera de Tumaco se encuentra en un rango de edad entre 40 y 60 años, sin embargo, es importante resaltar a la población clasificada en la categoría “adultos mayores” (mayores de 61 años), quienes representan casi un décimo de los encuestados. El nivel de ingreso del pescador de Tumaco y el Pacífico nariñense, refleja una importante vulnerabilidad social, pues un poco más de la mitad de ellos tienen ingresos menores al Salario Mínimo Legal Vigente (SMLV), a pesar de dedicar entre 5 y 12 h diarias a las labores de pesca. También se identificó que cerca de la mitad de los pescadores encuestados no poseen una embarcación propia, lo que puede estar

relacionado a que su rol en la actividad de pesca corresponde a cargos contratados o acordados como ayudantes de pesca. En Tumaco, más de la mitad de los pescadores encuestados manifestaron que la actividad de pesca es su medio principal de sustento, no solamente económico a través de la venta de pescado, sino también alimenticio.

Llama la atención que aún ahora con el gran auge del mundo digital y el open Access, alrededor del 80% de los pescadores manifestaron que no tienen acceso a información de las condiciones climáticas para tomar decisiones sobre la planeación de sus faenas. Esta situación permite reflexionar acerca de las limitaciones de determinadas poblaciones para acceder a la tecnología, aun cuando el mundo cada día aumenta su evolución en este aspecto. Escenarios como éste hacen que las poblaciones estén en desventaja y se vean cada vez más limitados para ser competitivas en el contexto nacional e internacional.

Se analizó también, cómo perciben los pescadores los cambios de las variables climáticas. En la percepción sobre el cambio de variables ambientales en general, la comunidad pesquera considera que la temperatura del agua, las lluvias y las inundaciones en la zona costera han aumentado y se han visto intensificadas. Según los pescadores, las variables más importantes para obtener más pesca son dos, que el mar esté limpio y que la temperatura del agua sea buena.

Seguidamente, se buscó conocer que opiniones tenían los pescadores acerca de cuáles afectaciones se han presentado por el cambio climático y otras problemáticas sociales. Además de las inseguridades en el mar, los pescadores identifican a la contaminación como la potencial mayor amenaza de cambio climático para los próximos años. En cuanto a las percepciones de los pescadores encuestados, se identificó que consideran importante recibir más información sobre el cambio climático, y paralelamente comentaron que la planeación y el apoyo del gobierno y las entidades

locales en este aspecto es importante mediante los subsidios y préstamos, mientras que otra proporción de los encuestados consideraron que no podrán adaptarse al cambio climático y tendrán que cambiar de actividad.

Basados en la información recolectada mediante las encuestas (que es más amplia que la aquí resumida) y otra información base, se analizó la vulnerabilidad económica, ambiental y social de los hogares pescadores sondeados como una muestra de las dinámicas de la región Pacífica nariñense (Selvaraj *et al.*, 2022), ante los efectos e impactos del cambio climático. Adicionalmente, se trabajó en co-crear, identificar y priorizar estrategias para la adaptación al cambio climático, como uno de los objetivos de investigación aplicada del proyecto.

Cuando se habla de co-crear estrategias para la adaptación al cambio climático, particularmente en países en desarrollo como Colombia, se considera que, para tener éxito, las estrategias de adaptación deben progresar con base de enfoque consultativo y participativo junto con las partes interesadas y con la intervención del gobierno local y la academia.

Existen múltiples mecanismos para la selección de estrategias, independiente del tipo de tema a desarrollar, ya sea de carácter social, económico, político o ambiental. El análisis multicriterio, es una de las metodologías disponibles y tiene como objetivo mejorar la toma de decisiones y ayudar a los investigadores a aplicar un juicio de valor a la temática analizada. Un beneficio importante es que permite la participación en la evaluación de alternativas y toma de decisiones, por lo que se trabajó en conjunto con los pescadores y expertos locales del sector mediante talleres y mecanismos de recolección primaria.

El análisis realizado permitió identificar qué, oportunidades como la determinación de áreas aptas para la acuicultura según posibles escenarios climáticos-oceanográficos futuros, poner información a

disposición de la comunidad sobre los cambios del océano, el fortalecimiento de la capacidad para la plena utilización comercial de especies clave, el desarrollo de planes de manejo adelantados para incorporar el monitoreo y la respuesta adaptativa a la variabilidad y el cambio climático, y promover el consumo y valor agregado de los recursos pesqueros artesanales; son necesarias y posibles en el contexto de Tumaco (Selvaraj, Miranda-Parra y Cifuentes-Ossa, 2022).

La FAO fomenta la innovación y la adaptación de nuevas tecnologías, incluidas las tecnologías disruptivas. Este tipo de tecnología, puede ofrecer nuevas formas para que el sector de la pesca y acuicultura, haga negocios para que sea más sostenible y más eficiente en cuanto a recursos y energía, al tiempo que crea nuevas oportunidades de trabajo decente, contenidas las oportunidades para mujeres y jóvenes, en estas se incluyen el internet móvil (por ejemplo, proporcionar precios del pescado en el mercado en tiempo real), robótica avanzada (por ejemplo, fileteado automático de pescado) e “internet de las cosas”, o interconexión entre sistemas, dispositivos y sensores avanzados (por ejemplo, etiquetas electrónicas para el pescado).

Un ejemplo del uso de tecnologías disruptivas en la pesca y la acuicultura puede no estar generalizado actualmente. Tres tecnologías disruptivas que no estaban en el horizonte del sector hace unos años, son: “block-chains”, sensores y sistemas de identificación automática, que están demostrando su potencial para cambiar los procesos, rentabilidad y sostenibilidad del sector en varias partes del mundo.

Por otra parte, los satélites recopilan información sobre el estado del océano y proporcionan información importante casi en tiempo real para mejorar la seguridad, como la altura de las olas, los vientos y las corrientes, y analiza el comportamiento de la temperatura, entre otras. Estos servicios son a menudo gratuitos y accesibles para los pescadores en pequeña escala y/o tomadores de decisiones, por ejemplo, a través de aplicaciones móviles.

Con sensores colocados a bordo de embarcaciones (como sondas acústicas) y en aguas abiertas (por ejemplo, en boyas o como drones autónomos), los peces ahora son más fáciles de detectar y estudiar. La información que proporcionan, cuando se combina con informes de captura, puede cambiar radicalmente el número y la calidad de las evaluaciones ambientales y de “stock”/población.

El enfoque de “Big Data”, cambiará la comprensión de los procesos naturales y humanos, como el crecimiento y la distribución de especies o la planificación espacial de la pesca y la acuicultura, surgiendo por ejemplo nuevas oportunidades para rastrear cómo y dónde operan los barcos y para realizar el seguimiento a productos hasta las tiendas y los consumidores.

Un tema de bastante interés se relaciona con “Big Data”, ante la posibilidad de trascender a la comprensión de los procesos naturales humanos como el crecimiento, la distribución de las especies o planificación espacial de pesca, la ordenación de pesca y la acuicultura, a través de estas tecnologías emergentes. Han surgido por ejemplo nuevas oportunidades para rastrear donde operan los barcos, el software “Global Fishing Watch”, una iniciativa desarrollada por Google donde se hace un seguimiento a barcos en tiempo real para identificar si se está presentando algún tipo de actividad ilegal.

Todas estas oportunidades comentadas aportan al proceso de dignificación y valoración de la pesca y el sector, sin embargo, deben ser llevadas a cabo de forma participativa y con responsabilidad en todas las dimensiones (ambiental, social, económica, política, etc.). Siendo igualmente importante fortalecer la gobernanza y la política del sector para crear oportunidades con compromiso y presencia institucional.

Solo 25 años después de la aprobación del “Código de Conducta para la Pesca Responsable”, se empieza a reconocer hoy en día y cada

vez más ampliamente, la importancia de utilizar los recursos pesqueros y acuícolas de forma responsable. El Código ha servido de base para la elaboración de instrumentos, políticas y programas internacionales de apoyo a los esfuerzos de ordenación responsable a nivel mundial, regional y nacional.

Para finalizar, se hace extensiva la invitación para que los temas aquí sintetizados puedan constituir la base para que los lectores, como presentes y futuros investigadores, tomadores de decisión y diversos actores de estos y otros sectores relacionados, se conviertan cada vez más en gestores del cambio que la comunidad y los ecosistemas necesitan, para hacer frente a los múltiples desafíos que enfrentamos y enfrentaremos como país y como comunidad.

REFERENCIAS

- CNP (CENTRO NACIONAL DE PRODUCTIVIDAD). (2016). *Caracterización de la población pesquera*. 54pp.
- EOM (EL ORDEN MUNDIAL). (2020). *Los países que más pescado producen*. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/los-paises-mas-pescado-producen/>
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). (2018). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 250pp.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura. La sostenibilidad en acción*. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

- ISAACS, M. (2016). *The humble sardine (Small Pelagic): fish as food or fodder*. *Agriculture & food security* 5 (1):27. DOI:10.1186/s40066-016-0073-5
- OCDE (ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO). (2016). *Pesca y acuicultura en Colombia*. 34pp.
- ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS). (2015). *La Asamblea General de la ONU adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS). (2020). *Cambio climático y medioambiente. Noticias ONU Mirada global Historias humanas*. <https://news.un.org/es/story/2020/06/1475632>
- PORTAFOLIO. (2016). *Los atuneros piden al Gobierno liderazgo en temas de su sector*. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/le-piden-atuneros-gobierno-497291>
- SELVARAJ, J. J., MIRANDA-PARRA, M. A. Y CIFUENTES-OSSA, M.A. (2022). *Potential adaptation responses to climate change in small-scale fisheries along the Colombian Pacific*. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*. 14(2). DOI: 10.18848/1835-7156/CGP/v14i02/149-171
- SELVARAJ, J. J., ROSERO-HENAO, L. V. Y CIFUENTES-OSSA, M. A. (2022). *PROJECTING FUTURE CHANGES IN DISTRIBUTIONS OF SMALL-SCALE PELAGIC FISHERIES OF THE SOUTHERN COLOMBIAN PACIFIC OCEAN*. *HELİYON* 18; 8(2). DOI: 10.1016/J.HELİYON.2022.E08975
- SELVARAJ, J. J., GUERRERO, D., CIFUENTES-OSSA, M. A. Y GUZMÁN-ALVIS, A. (2022). *The economic vulnerability of fishing households to climate change in the south Pacific region of Colombia*. *Heliyon* 13; 8(5). DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09425
- SUÁREZ, A. M., DE LA PAVA, M. L., REYES, F. J., HERRERA, F., ROJAS, A., DIAZGRANADOS, M. C. Y SAN JUAN, L. M. (EDS.). (2017). *Evaluación de la flota pesquera industrial en Colombia: Informe Técnico presentado a Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP y Conservación Internacional*. Bogotá, D.C. FUNDAMAR. 31 p.



PENSAR EL MAR EN EL LITORAL HÚMEDO Y ACUÁTICO

► **Carlos Andrés Meza**

Grupo de Antropología Social del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICAHN)
cmeza@ICAHN.gov.co

Introducción

Pensar el mar en el litoral húmedo y acuático requiere hacer un recorrido geográfico, histórico y cultural del litoral Pacífico como un lugar que ha sido integrado a la economía mundial a partir de la explotación y la pugna por el control interoceánico en el marco de la expansión colonial europea, de la diáspora africana y del exterminio, sometimiento y resistencia de la población indígena, que en muchos casos, sobrevivió replegándose hacia la parte alta de los ríos (Vargas, 1991; Cantor, 2000), mientras que los cursos bajos de los ríos serían principalmente poblados por los descendientes de los africanos. La diáspora africana, por su parte, debe ser entendida como una empresa demográfica sustentada en la trata transatlántica de esclavizados cuya presencia en la región inició desde finales del siglo XVII con la apertura de los distritos mineros en Nóvita (lo que hoy es la provincia del río San Juan principalmente), Raposo (al norte de Buenaventura, al sur del río San Juan y hasta el Naya), Micay, Iscuandé y el antiguo distrito de Barbacoas (Sharp, 1976), mucho antes del establecimiento del puerto fluvio-marítimo de Tumaco, que va a darse hacia la segunda mitad del siglo XIX (Almario, 2009).

Otro lugar importante es el que se construye a partir del extractivismo en la despensa de maderas finas: el caucho, la tagua, minerales y ciclos mercantiles de auge y caída que van a determinar mucho la integración de la región a la economía mundial (Leal y Restrepo, 2003). Un punto sobre el cual considero importante reflexionar, ¿es la falsa idea de la región como un espacio vacío disponible a la acumulación de capitales?, en donde sobresale la mirada desde el interior andino como Klein (2020). Plataforma portuaria para la conectividad que requiere la participación en el comercio mundial. Empero, el litoral es y ha sido un espacio repleto de gente y significados construidos a partir de aquello que el geógrafo Oslender (2008) denominó “sentido de lugar acuático”. En ese sentido, es importante traer a colación todo esto, como quiera que el conocimiento del espacio marítimo y oceánico ha permitido el surgimiento y consolidación de poderes imperiales y la expansión colonizadora por parte de las naciones europeas. Es imposible aproximarse a la historia del litoral Pacífico sin percatarse de esto, pero la transición global que se vive desde lo local en este siglo XXI implica también una comprensión de los mares por parte de los pueblos costeros y de su mundo acuático. Este es uno de los grandes retos de cara a los escenarios de pobreza, de guerra, crisis y desastres.

Breve historia del litoral

Remontándose a hace un poco más de 200 años, se puede ver que estas ideas, estas narrativas de espacios de horror y muerte, pero al mismo tiempo de incontables riquezas, aparecen en las relaciones de viaje de cientos de misiones de jesuitas que exploraron las provincias chocoanas justo en el declive de los Reales de minas, lo que permite vislumbrar superficialmente cuál es la percepción que hay de la geografía de llanuras, de selvas, de costas y de planicies aluviales. Así, en 1788, el padre Juan de Velasco se dedicó a escribir una extensa reivindicación titulada “Historia del Nuevo Reino de Quito” en la que afirmaba que “[...] todos los terrenos del mar del sur, en especial desde el Chocó has-

ta las tenencias de Barbacoas e Iscuandé, aguardaban muchas maravillas en espera de hallar dueño [...]”. La región Andina estaba conectada en un tráfico centrado por el río Magdalena, con el brazo del Canal del Dique, lo que le daba una primacía a Cartagena como plaza importante dentro del comercio ultramarino con el Caribe. El Caribe -con sus puertos de Cartagena, Santa Marta y Mompos- y el Pacífico estaban divididos en dos provincias cada uno: Cartagena y Santa Marta en el primero, y la gobernación del Chocó y Popayán en el Pacífico. El “Gran Cauca” será la unidad político-administrativa que ejercerá control territorial sobre las tierras bajas del litoral durante el siglo XIX, tras prolongada desconexión con el Caribe por efecto del cierre más importante del río Atrato entre 1698 y 1730. Esa desconexión interoceánica tuvo efectos negativos para el imperio español, que en las últimas décadas del siglo XVIII se preocupó por organizar expediciones en los litorales, trazando cartas de navegación y fondeando las costas. Es así como, en 1780 Juan Jiménez Donoso, parte del golfo de Urabá, remonta el Atrato y deja relación del proyecto del canal del Cura para conectar el Atrato con el San Juan a través de lo que se conocía entonces como el arrastradero de San Pablo. Los arrastraderos son los puntos de conexión entre vertientes que están separadas por las cuchillas, formando istmos, de hecho, Isthmina es “entre minas”.

Desprovistas del control del imperio español y del virreinato, las ensenadas y caletas de desembarque marítimo a lo largo del litoral antecedieron a la formación de puertos como Buenaventura y Tumaco. En el siglo XIX se va a configurar una geografía racializada, como bien lo plantea Alfonso Múnera en su libro “Las fronteras imaginadas”, que refiere a unas relaciones de poder muy marcadas entre los centros andinos antiguos como Popayán y otros emergentes como Cali respecto de las tierras bajas. Esas relaciones de poder se van a ir asentando, pero al mismo tiempo se va a construir un espacio acuático más allá de esas representaciones del litoral como lugar inhóspito, recóndito, poblado por

gente perezosa, incapaz de gobernarse. Una voz muy importante que va a hablar y que va a señalar la marginalización del litoral ya a principios del siglo XX es el político Sofonías Yacup, quien acuña la idea del litoral lluvioso, recóndito y con el mar al frente (Escobar, 2010).

El geógrafo cultural norteamericano Robert West estudio la región en la década de 1950, justamente cuando se había consolidado la colonización agrícola fluvial de la gente negra, iniciada desde el ocaso de la esclavitud. West reconoció unidades de paisaje en la región acuática caracterizadas por bocanas, estuarios y manglares. Actividades como la recolección de la concha -desarrollada principalmente por mujeres- está regulada por las mareas, por las pujas, las quiebras y por esos avances y retrocesos del mar en intervalos de seis horas. Este sistema estuarino ha sido sumamente importante para la conectividad y para las dinámicas del trabajo caracterizadas por la pluriactividad que se da entre quehaceres extractivos y agrarios.

Hay un Pacífico norte y un Pacífico sur, pero lo interesante es que los límites del Pacífico se crean todo el tiempo, así como el mar también plantea unas interacciones cambiantes, unos contornos siempre cambiantes, pues estas subregiones han ido articulándose progresivamente con el centro andino. Los Andes conectan y crean interdependencias ecológicas entre las tierras bajas de Pacífico y los valles interandinos como los valles del Cauca y Patía, que van a separarse de las tierras bajas del litoral con la emergencia de todo el sistema orográfico. Entre la costa norte y el oriente choicano, la serranía se alza imponente, dificultando las comunicaciones entre las dos subregiones. En los últimos 60 años el interior del Chocó se ha conectado más con el eje cafetero y Antioquia a través del desarrollo de las carreteras. Decreció y se hizo más precaria la navegación fluvio-marítima que conectó al Chocó con el Caribe y Cartagena a través del río Atrato (cuando esta importante arteria fluvial se recuperara del cierre impuesto durante la colonia). A

diferencia de la costa norte, es en el Pacífico sur donde se encuentran los epicentros urbanos portuarios más importantes de todo el litoral: Buenaventura y Tumaco.

Sobre este mapa se despliega un largo proceso de poblamiento en el que se superponen diferentes fases cuyos rasgos confluyen para dar forma al sistema urbano-regional moderno (Aprile-Gnisset 1993). Hábitats aborígenes, existentes antes de la ocupación y conquista española, hábitats mineros de colonización española y hábitats de colonización negra aluvial, que es cuando la población negra se esparció a lo largo de los principales ríos y sus afluentes, durante el siglo XIX y XX. Esta fase marcó el establecimiento de redes aldeanas en torno a polos como Buenaventura, Quibdó, Tumaco y Guapi, que dominan el territorio regional e influyen diferencialmente en los diversos subsistemas fluviales y marítimos.

Las epistemologías acuáticas locales son el ensamblaje de relaciones espaciales que resulta del enmarañamiento humano con los ambientes acuáticos y se manifiestan en las formas culturales y de conocimiento basadas con el lugar (Oslender, 2008). El sentido de lugar acuático está presente en la oralitura, en la literatura y en la música del Pacífico. En esas epistemologías acuáticas locales el mar redefine constantemente los contornos de la costa, los ríos se entrecruzan delimitando derechos de pertenencia y la lluvia torrencial e interminable se precipita con frecuencia. El mar al frente, los ríos y la lluvia, la vida, la despensa, la protección que brinda el manglar y una serie de narrativas cuidadosamente tejidas por décadas, como aquellas sobre espíritus acuáticos como la madre de agua, el riviél, el maraveli, que resuenan aún en las generaciones más jóvenes de pescadores que han osado entrar en el mar cuando no deben y que se han encontrado con algunas de estas visiones. También están los cantos de las mujeres concheras, los ritmos del remo en el agua y los santos navegantes que son tan importantes en la dinámica ritual festiva del Pacífico. Está la inmaculada

concepción de Guapi, que es una fiesta con balsadas sobre el río y la virgen del Carmen en Pizarro.

Visión actual

Desde la década de 1980 se han formulado ambiciosos planes de desarrollo regional Pacífico que vuelven la mirada sobre el mar y su importancia geopolítica, así como sobre los recursos forestales, pesqueros y mineros. Desde la visión estatal, la organización, clasificación y explotación del mar es una apuesta que ya no puede posponerse. Política y jurídicamente el océano Pacífico ha sido pensado como espacio no ocupado, vacío de instituciones sociales y de acceso abierto. De otra parte, la legislación de tierras baldías y reserva forestal que pesaba sobre la mayor parte de la franja terrestre del litoral, suponía que estos planes se podían implementar sin contar con los habitantes. Sin embargo, por esa época emergió una activa movilización étnico territorial que iba a ser en buena medida también, redefinida con criterios de gobernanza ambiental de los recursos naturales, a partir de la creación y ampliación de resguardos indígenas y títulos colectivos de comunidades negras de acuerdo con la Ley 70 de 1993. Cabe agregar que toda esta epistemología acuática también se va a proyectar en el movimiento étnico territorial de comunidades negras: La Ley 70 reconoce la espacialidad acuática de la cuenca del Pacífico en las definiciones que la constituyen, tales como ríos de la cuenca, zonas rurales, tierras baldías comunidades negras, ocupación colectiva, prácticas tradicionales de producción, entre otras. Así mismo, crea un marco sin precedentes para que las comunidades costeras puedan expandir sus derechos territoriales al mar.

En las últimas décadas este choque de visiones se ha venido tramitando a través de la imposición del modelo neoliberal que ha ido conformando arenas o campos que articulan pugnas de significados, de definición e implementación de políticas públicas. De acuerdo con la Agenda Pacífico XXI, el problema no es no solo que haya pocos puertos impor-

tantes sobre el litoral, también es apremiante la precariedad social y los ciclos de daño en ambientes y poblaciones generados tras el conflicto armado y las intervenciones desarrollistas más convencionales. Cuando se hace mención al conflicto armado, se hace referencia a un tipo de violencia organizada que es consecuencia de la actual era de la globalización. En este conflicto, los motivos políticos están menos definidos pero el trasfondo económico es más explícito en la pugna despiadada por el control de rentas y recursos en cabeza del crimen organizado. El campo humanitario y de la cooperación internacional encabezado por ONG's y organismos internacionales, parece ser la otra cara de la moneda que nos presenta esta guerra irregular y aparentemente sin fin.

A medida que nos adentramos en este siglo XXI, las narrativas del riesgo se hacen más prominentes en los imaginarios políticos sociales y culturales, aunque superpuestas a los viejos discursos de vastedad, vacuidad y riquezas incontables por extraer. Entonces aquí emergen debates muy controversiales sobre los horizontes y experiencias del desarrollo portuario y urbano, sobre el cuidado de manglares, sobre la inundación por subsidencia del litoral y otra serie de hechos y proyectos que se discuten ahora. La gobernanza regional del riesgo debe equilibrar las necesidades y los objetivos múltiples, posiblemente en conflicto, de múltiples actores. La seguridad, los impactos económicos y la justicia social y ambiental se encuentran entre las consideraciones importantes que deben abordarse.

La era de los planes de desarrollo, la apertura neoliberal, los territorios étnicos, el extractivismo y la guerra provocan una reflexión importante sobre la re-territorialización del Pacífico desde el centro andino en la medida en que coinciden con una vuelta a un complejo extractivo militar neocolonial que progresivamente ha desestructurado el modelo societal heredado de la referida colonización agrícola fluvial, que como se menciona, es una empresa demográfica y socio-cultural agenciada por la gente negra en los últimos 300 años. Esta es la

reflexión importante que se desea dejar aquí: la convergencia entre la implementación de planes de desarrollo y la tragedia del litoral.

El caso de Buenaventura es significativo en ese sentido porque lo que ocurre allí es una ventana de lo que ocurre en el Pacífico. No se ahondará en los hitos históricos que llevan a Buenaventura a convertirse en una zona portuaria importante, pero sí es pertinente decir que cuando se liquidó a la empresa ColPuertos, comienza la concentración de las ganancias en manos de privados y comienza lo que hoy estamos viendo, que es la espiral de disputa armada, degradación, conflictos y desplazamientos intraurbanos. Esto está pasando también en Tumaco y esto puede llegar a repetirse. Vemos cómo están tugurizados los espacios de baja mar y la gente se pregunta ¿qué hay detrás del discurso sobre el riesgo de los tsunamis? ¿qué hay detrás de asesinatos y desplazamientos intraurbanos? ¿Por qué se resiste la gente a apuestas de renovación urbana que los alejan física y simbólicamente del mar?

Tumaco fue un puerto importante que decrece con el incendio de 1947 y luego viene el devastador maremoto de 1979, el sexto desde 1882 hasta la actualidad. A la lógica de relocalizar asentamientos lacustres para insertarlos en una lógica urbana y de la ciudad-puerto moderna se superpuso la violencia y el narcotráfico complejizando aún más el escenario de riesgo. A propósito de esto, en “Mi museo de la Cocaína” el antropólogo Michael Taussig escribía acerca de cómo el cemento, la coca y la velocidad inundaban los horizontes fluviales del litoral y estremecían la vida ríos abajo, justo antes del mar. El cemento y la guerra asociada al narcotráfico surcan en lanchas veloces por esteros y mares. A su paso sacuden los cimientos de la vida palafítica de madera y de manglar que antecede a la modernidad (Taussig, 2013).

¿Qué significa pensar en el mar del litoral Pacífico y actuar sobre éste, ahora que la región ha perdido su inocencia en la reflexividad de los procesos de modernización? La confluencia de crisis (económico-social, ambiental, sanitaria, etc.) ha generado las condiciones de una crisis civilizatoria ante la cual las perspectivas son catastróficas de continuar las estructuras de poder, los valores y las concepciones dominantes, causantes principales de esas crisis y cuyo resultado es este mundo roto (Klein, 2020). La obsesión por la gobernanza de los espacios marinos y marítimos no escapa a las condiciones de posibilidad que puede plantear esta coyuntura crítica global. El Pacífico de este siglo se debate entre la producción de la riqueza y el reparto de los riesgos. Para los y las habitantes locales, las riquezas son quimeras, placeres efímeros o que los foráneos gozan en otra parte. Los riesgos, en cambio, permanecen y se acentúan en el litoral. Se trata del ascenso del nivel del mar, de la erosión, de la inundación y de la contaminación de mares, ríos, plantas, suelos, animales y de cuerpos humanos. Las actividades marítimas locales también encaran múltiples riesgos, como la pérdida y los daños a los equipos de pesca, el deterioro de los muelles, la inseguridad, el crimen organizado y la prohibición de la navegabilidad de los ríos que empezó en los 90 y que todavía se mantiene en muchos lugares y de manera intermitente.

Para concluir, diríamos que el Pacífico ha sido imaginado vacío en términos sociales pero lleno de recursos naturales y biodiversidad. Por otra parte, las comunidades han desarrollado una cultura anfibia de prácticas, comportamientos y creencias. A principios de los años 80 el Pacífico se representó como una entidad desarrollable y esa estrategia todavía está bajo implementación, pero las comunidades también han avanzado en sus propias apuestas de territorialización del mar y de maritorialización de la tierra. Se puede ilustrar esto último mediante el recuerdo de una charla que sostuve hace unos años con una señora mayor de Puerto Rey, un corregimiento afrodescendiente al norte de Cartagena. Ella me contaba cómo la

troncal del Caribe construida en los años 70, había “partido el mar” porque rompió con un sistema de ciénagas que se intercomunicaba y degradó la vida anfibia. En el Pacífico no hay carreteras que surquen los esteros en todo el andén litoral y tal vez nunca las haya. Queda para las comunidades su autodeterminación para hacer valer su autoridad sobre el mar y la están haciendo valer desde la territorialidad colectiva, desde figuras de ordenamiento pesquero que confrontan racionalidades en las que el mar es un bien público de acceso abierto, pero siempre restringido para quienes viven en el borde costero. También la hacen valer desde los trabajos sobre áreas marinas protegidas con la cooperación internacional, desde los reclamos de justicia social, resistencia civil y por supuesto, desde diversos emprendimientos a los que estas comunidades apuntan.

REFERENCIAS

- ALMARIO, O. (2009). *De lo regional a lo local en el Pacífico sur colombiano, 1780-1930*. HiSTOReLo Vol. 1, No. 1.
- APRILE-GNISET, J. (1993). *Poblamiento y hábitats del Pacífico*. Cali: Universidad del Valle.
- CANTOR, E. W. (2000). *Ni aniquilados ni vencidos. Los embera y la gente negra de Bajo Atrato bajo el dominio español*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICAHN).
- ESCOBAR, A. (2010). *Territorios de diferencia. Lugar, movimiento, vida, redes*. Popayán: Envión.
- KLEIN, N. (2020). *Los años de reparación*. Buenos Aires: CLACSO.

- LEAL, C. Y RESTREPO, E. (2003). *Unos bosques sembrados de aserríos. Historia de la extracción maderera en el Pacífico colombiano*. Medellín: Universidad de Antioquia; Universidad Nacional de Colombia; Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICAHN).
- OSLENDER, U. (2008). *Comunidades negras y espacio en el Pacífico colombiano. Hacia un giro geográfico en el estudio de los movimientos sociales*. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, ICAHN, Universidad del Cauca.
- SHARP, W. (1976). *Slavery in the Spanish Frontier. The Colombian Chocó. 1680-1810*. Norman: University of Oklahoma Press.
- TAUSSIG, M. (2013). *Mi museo de la cocaína*. Popayán: Editorial Universidad del Cauca.
- VARGAS, P. (1991). *Los embera y los cunas en frontera con el imperio español. Una propuesta para el trabajo complementario de la historia oral y de la historia documental*. Boletín Museo Del Oro, (29), 75-101. <https://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/bmo/article/view/7040>
- WEST, R. (2000). *Las tierras bajas del Pacífico colombiano*. Bogotá: Instituto Colombiano de Antropología.

ENERGÍA MARINA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA

CAPÍTULO 11



ENERGÍA MARINA, NUEVAS TECNOLOGÍAS E INDUSTRIA OFFSHORE

► **Carlos Alberto Vargas**

*Profesor Titular, Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
cavargasj@unal.edu.co*

La humanidad es un colectivo social complejo que se ha desarrollado gracias a la energía disponible en el entorno. Estamos cautivados con la energía porque ha permitido grandes transformaciones en nuestra calidad de vida desde que somos conscientes de su disponibilidad, uso y control. Con energía hacemos alimentos, nos desplazamos, nos permite desarrollar nuestra capacidad creativa. Estamos vinculados a la energía, no hay nada que hacer. Pero su dependencia ha creado un relevante problema, porque ante su escasez o ausencia nos limita la cotidianidad creada. La distribución geográfica del consumo de energía permite observar la demanda de EE.UU., Rusia y China, principalmente, y en contraste un consumo marginal de Colombia (Figura 11.1). La energía en general tiene la virtud de permitir transformaciones, pero en cada transformación generamos algún tipo de pérdida, así que buscamos siempre elementos de eficiencia en estos procesos transformativos.

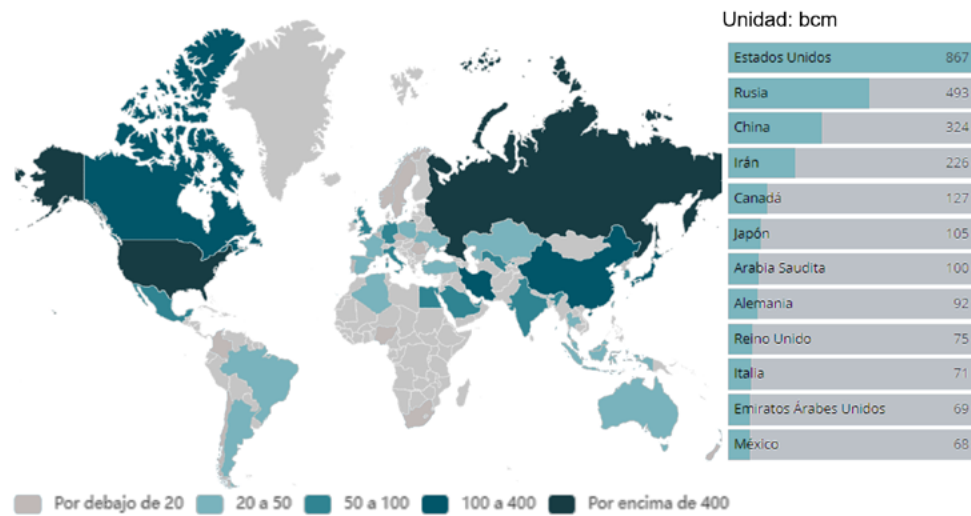


FIGURA 11.1. Consumo mundial de energía en billones de metros cúbicos de gas equivalentes (bcm). Anuario estadístico mundial de energía 2020.

FUENTE: ENERDATA (2022).

La energía en general se encuentra en la naturaleza en diversas formas. Desde la revolución industrial (siglo XIX), hemos aumentado su consumo en forma de hidrocarburos, carbón y biomasa (Figura 11.2). En América Latina tenemos un consumo relativamente moderado desde la década de 1990, con tendencia creciente y vinculado a combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón (Enerdata, 2022). Sigue creciendo el consumo de biomasa, lo cual está vinculado con problemas de salud pública que tenemos en algunas regiones. Desde el punto de vista de renovables, la producción de hidroelectricidad tiene más cobertura en esta región y por supuesto, se aprovecha la energía geotérmica (en forma de calor o para la generación eléctrica), así como la solar y eólica generadas en áreas continentales (Figura 11.2).

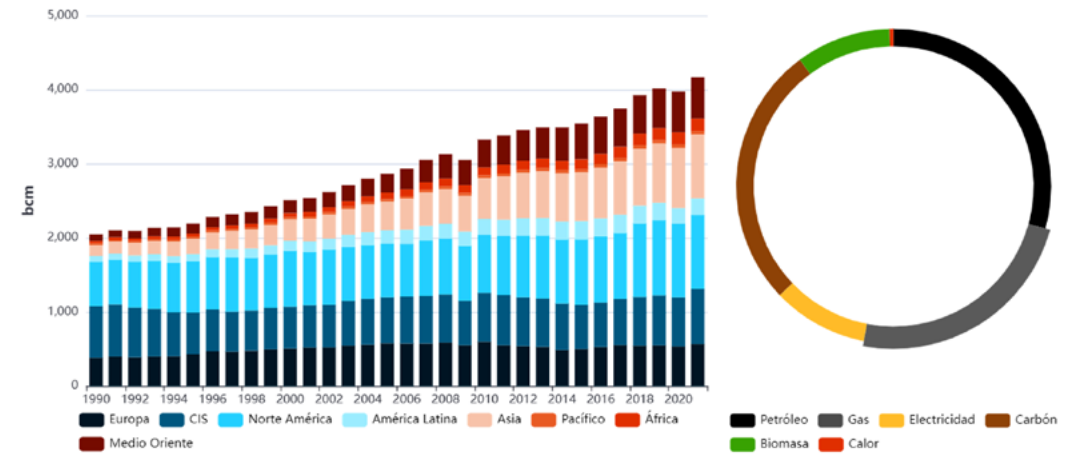


FIGURA 11.2. Consumo mundial de hidrocarburos por regiones. Anuario estadístico mundial de energía 2020.

FUENTE: ENERDATA (2022).

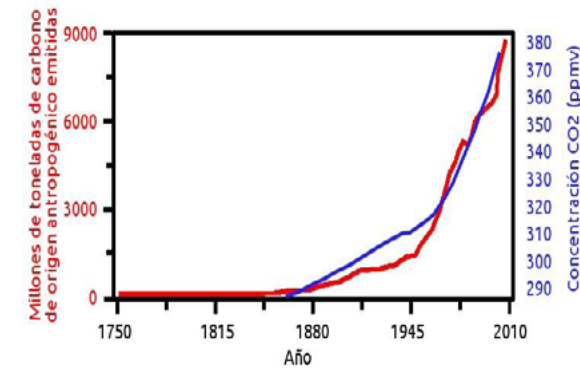
Desarrollo industrial e impacto ambiental

Como mecanismo para medir el desarrollo industrial, el consumo de energía refleja condiciones que implican grandes transformaciones de la materia prima. Europa, EE.UU. y Asia son buenos ejemplos de desarrollo industrial. Pero ese desarrollo se debe principalmente al consumo de combustibles fósiles. Los países BRICS (Brasil, Rusia, Indonesia, China y Sudáfrica), han incrementado el consumo de hidrocarburos en 67% desde el año 2000. En EE.UU. el incremento fue del 11% desde esa misma fecha, tanto para energía, como para petroquímica. Por ello la eliminación de segmentos económicos basados en carbono requiere una transición planeada e inteligente. Por ejemplo, el gas natural es un combustible fósil abundante, que cuenta con muchas fuentes y expresiones, y el carbón natural seguramente lo tendremos como protagonista a largo plazo para

finos metalúrgicos. Consecuente con el consumo de estos recursos, su impacto se mide por aportes netos de CO_2 , un gas de efecto invernadero de alto impacto. La Figura 11.3 ilustra la emisión de CO_2 antropogénico desde mediados del siglo XVII, y el significativo incremento desde 1880, el cual coincide con una tendencia creciente en la temperatura media global en superficie. Entonces, ¿dichas tendencias son evidencia del cambio climático? Posiblemente son una evidencia. Acaso este tipo de patrones ¿son únicos en la historia del planeta? No, en el registro geológico tenemos varios eventos de este tipo. Pero éste ¿es producto de la actividad humana? Parcialmente y es un tema crítico y un elemento para reflexionar como sociedad, pues somos aportantes, pero no es el único elemento aportante en la naturaleza.

Las tendencias estimadas por el IPCC muestran escenarios estratégicos de reducción en la emisión de CO_2 , por ejemplo, a partir del menor consumo de combustibles fósiles. Se trata de una serie de hipótesis sobre el posible comportamiento del clima en función de la emisión de CO_2 , aunque hay otros gases de efecto invernadero involucrados (p. ej., vapor de agua, metano, óxido nitroso y ozono, entre otros). El CO_2 (vida media entre 30 a 95 años) se ha tomado como referencia gracias a los grandes volúmenes arrojados en procesos de respiración orgánica y combustión. El vapor de agua es posiblemente el gas de efecto invernadero con mayor incidencia en el cambio climático debido a que los océanos están desprendiendo grandes volúmenes a la atmósfera y cambiando el balance térmico del planeta.

A



B

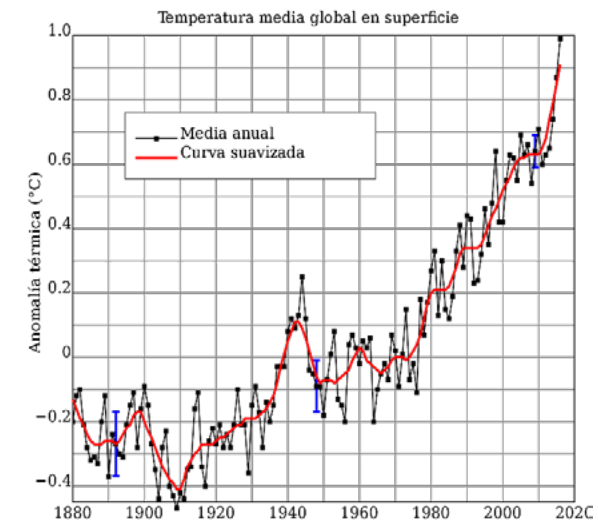


FIGURA 11.3. A. Evolución de la concentración de dióxido de carbono desde 1750 a 2010 y su relación con la emisión de carbono de origen antropogénico debido a la quema de combustibles fósiles, deforestación y fabricación de cemento «Frequently Asked Global Change Questions». B. Temperatura media global en superficie.

FUENTE: A. CDIAC (2018). B. LENNSEN ET AL. (2019).

Por su parte, el metano, tiene una vida media de sólo 12 años y un gran protagonismo respecto a fuentes de emisión y volúmenes emitidos. Hay otros en menor cantidad, con más potencial de incidencia en el calentamiento global a largo plazo, pero la abundancia es mucho menor. Muchos de estos gases de efecto invernadero, excepto los

clorofluorocarbonados, son naturales. La Figura 11.4A y B sugiere la tendencia creciente de emisión de estos gases.

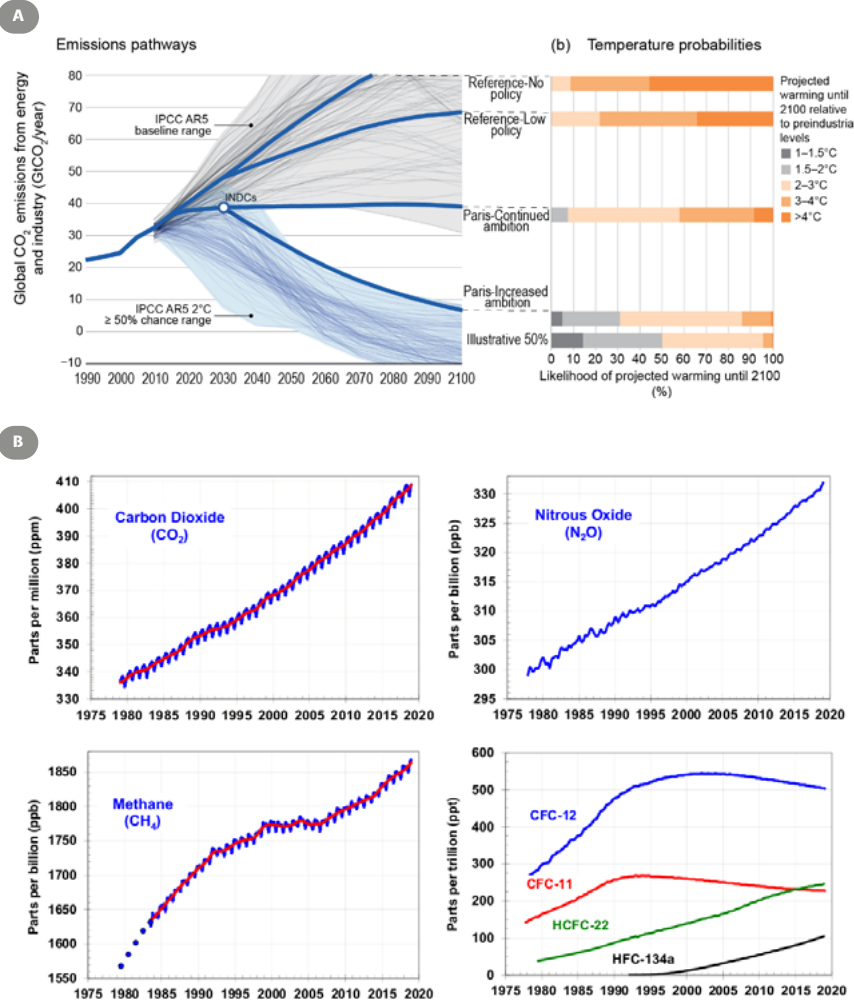


FIGURA 11.4. Escenarios hipotéticos de cambios en la temperatura media global relacionados a la emisión de gases de efecto invernadero. A. Se ilustra la relación con la emisión de CO₂. B. tendencias crecientes en la emisión de algunos de los principales gases de efecto invernadero

FUENTE: A. FAWCETT ET AL. (2015). B. NOAA (2007).

Colombia aporta bajas emisiones debido a una industrialización marginal. Dentro de las fuentes se encuentra la combustión de carbón para algunas termogeneradoras y siderúrgicas; hidrocarburos, principalmente

para la industria de transporte, agroquímicos y fabricación de polímeros; rellenos sanitarios; quema de biomasa usada en combustión para hogares rurales e incendios forestales controlados; ganadería y diversos cultivos (p. ej. arroz en amplias áreas). Otros procesos naturales provienen de ciertas especies de fauna (p. ej. termitas), volcanes de lodo y magmáticos activos; espejos de agua y áreas permanentemente inundadas y los hidratos de gas metano, los cuales emiten desde mares y océanos, y en las regiones de permafrost, principalmente en latitudes altas (Figura 11.5).

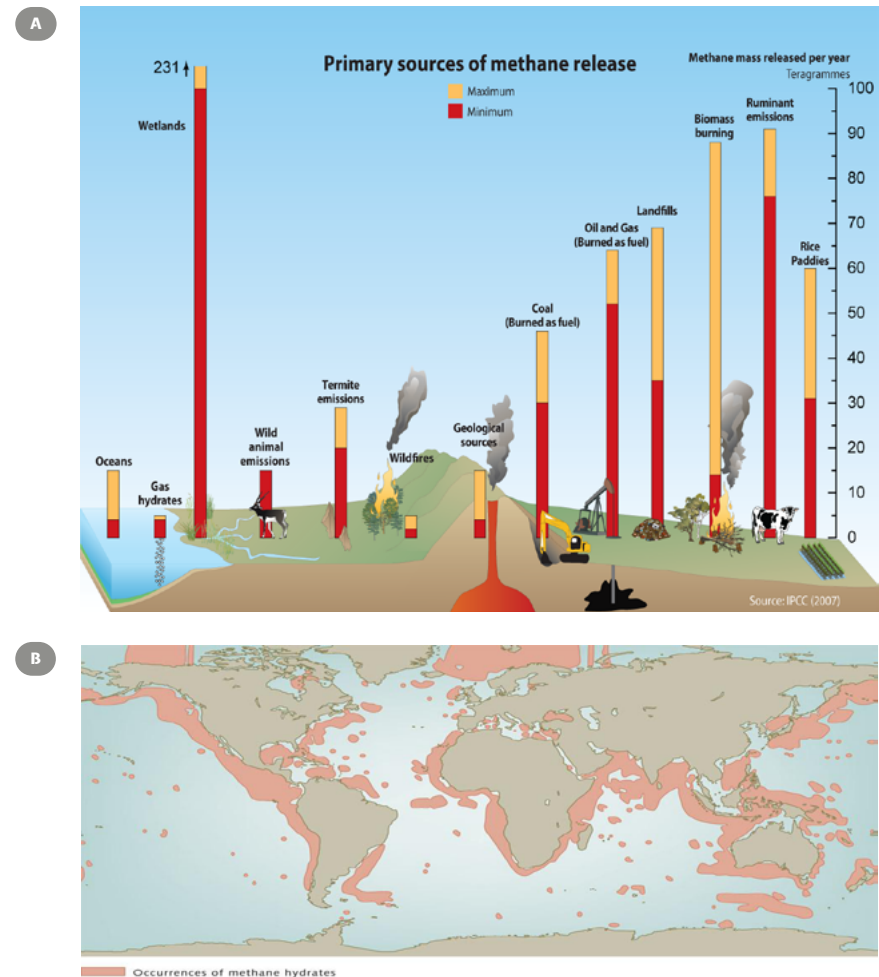


FIGURA 11.5. A. Principales fuentes de emisión de CH₄. B. Mapa global de ocurrencias de hidratos de metano.

FUENTE: A. GRID-ARENDAL (2022). B. KLAUDA Y SANDLER (2005).

Respecto a este último tipo de fenómeno, podría considerarse como una oportunidad energética vinculada a procesos marinos con gran disponibilidad del recurso, evidenciando que, los océanos son retenedores de CO_2 , pero también grandes emisarios de gas CH_4 que puede ser aprovechado. Por ejemplo, en los mares colombianos este recurso ha sido detectado en estabilidad en tablas de agua superiores a 560 m, los cuales corresponden a laderas continentales. Por supuesto, ante cambios en la circulación y en la temperatura de los mares, su podrían generar inestabilidades de los hidratos de metano con la consecuente emisión descontrolada de estos gases. En las zonas en donde se encuentra permafrost, los procesos de deshielo han promovido la emisión descontrolada de CH_4 . Se requiere, por lo tanto, mecanismos de adaptación y la mitigación en respuesta a un fenómeno que presenta ciclos de millones de años. Aunque la tecnología para su explotación controlada y los mecanismos de mitigación ante emisiones furtivas está aún en etapa de desarrollo, su uso a mediano plazo no es descartable. Para el caso colombiano, se han realizado estimaciones del recurso que pueden ser significativas (Vargas, 2012). De este modo, ante la agresividad del metano como gas de efecto invernadero, su aprovechamiento energético se constituye en una solución de la industria offshore con significativo impacto.

Más allá de la actividad humana y la variabilidad climática como detonadores de emisiones de gases de efecto invernadero, existen otros mecanismos aun no completamente entendidos. Por ejemplo, recientemente la Universidad Nacional de Colombia instaló en la Isla Marambio en la Antártida, una estación geofísica en donde se incorporaron sensores de CO_2 y CH_4 . Después de la actividad sísmica en la Isla Jorge en agosto de 2020 (a <200 km de distancia de la estación) se pudieron detectar incrementos significativos en la emisión de estos gases que estaban retenidos en el permafrost. Esta observación ha permitido hipotetizar que la actividad tectónica o volcánica pueden desencadenar emisiones debido a reajuste del campo de esfuerzos y consecuentemente generando pequeñas fracturas con cambios en las condiciones de la permeabilidad sobre amplias zonas (Figura 11.6).

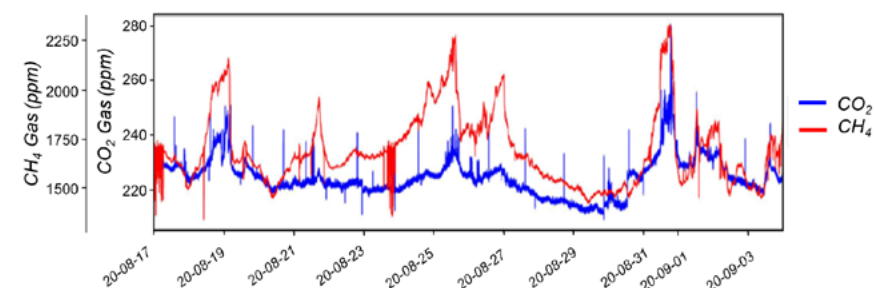


FIGURA 11.6. Emisiones de CO_2 y CH_4 registrados por la estación geofísica de la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo del Instituto Antártico Argentino.

FUENTE: SOLANO ET AL. (2021).

En muchos países existe una alta dependencia de recursos energéticos renovables como la hidroelectricidad, generada en zonas continentales de contraste topográfico. En áreas marinas los vientos y las corrientes marinas ofrecen generación complementaria, pero no permanente las 24 horas. Adicionalmente, la alta dependencia de gas natural de nuestra sociedad actual se evidencia con amplias redes de distribución para propósitos domésticos, vehiculares e industriales, que inducen al uso racional de la energía, pero a su vez, complementario respecto a las diferentes fuentes. Expuesto el diagnóstico, parece que la explotación de recursos hidrocarbúricos, principalmente gas e hidratos de metano podrían constituir fuentes vinculadas a una transición energética ordenada. En efecto, todo este recurso se encuentra ubicado en las plataformas o en laderas continentales, relativamente cerca a zonas donde se despliegan actualmente campos solares, mareomotrices y eólicos. Adicionalmente, iniciativas de biocombustibles a partir del cultivo de algas aparece como un complemento a la diversificación de fuentes de energía.

Alrededor de viabilizar la explotación de estos recursos offshore, existen nuevas iniciativas tecnológicas que seguramente serán protagonistas en los próximos años. Son ejemplos a revisar: 1) Biocombustibles de algas en el marco de su diversidad y tecnologías de producción (Sarsan y Roy, 2021); 2) Aprovechamiento de hidratos de gas metano (Shaibu et al., 2021); 3) Campos solares y de vientos en áreas marinas (Golroodbari et al., 2021);

Zhang et al., 2021); 4) Viabilización de la energía mareomotriz (Hossain y Petrovic, 2021), y finalmente, 5) existe la posibilidad de explotar el gradiente de la energía geotérmica en el offshore (Kim et al., 2021).

REFERENCIAS

- CDIAC (CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER). (2018). *Frequently Asked Global Change Question. Carbon Dioxide Information Analysis Center*. <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/home.html>. Última consulta, mayo de 2022.
- ENERDATA. (2022). *Anuario estadístico mundial de energía 2020*. <https://datos.enerdata.net/>. Última consulta, mayo de 2022.
- FAWCETT, A. A., IYER, G. C., CLARKE, L. E., EDMONDS, J. A., HULTMAN, N. E., MCJEON, H. C., ROGELI, J., SCHULER, R., ALSALAM, J., ASRAR, G. R., CREASON, J., JEONG, M., MCFARLAND, J., MUNDRA, A. Y SHI, W. (2015) *Can Paris pledges avert severe climate change?* *Science*, 350 6266,1168-1169.
- GOLROODBARI, S. Z. M., VAARTJES, D. F., MEIT, J. B. L., HOEKEN, A. P. VAN, EBERVELD, M., JONKER, H. Y SARK, W. G. J. H. M. VAN. (2021). *Pooling the cable: A techno-economic feasibility study of integrating offshore floating photovoltaic solar technology within an offshore wind park*. *Solar Energy*, Volume 219: 65-74, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.062>.
- GRID-ARENDAL. (2022). *Primary sources of methane release*. <https://www.grida.no/resources/6608>. Última consulta mayo de 2022.
- HOSSAIN E. Y PETROVIC S. (2021). *Ocean Power*. In: *Renewable Energy Crash Course*. Springer, Cham. 31-41 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70049-2_4.

- KIM, H. J., LEE, H. S., LIM, S. T. Y PETERSON, M. (2021). *The Suitability of the Pacific Islands for Harnessing Ocean Thermal Energy and the Feasibility of OTEC Plants for Onshore or Offshore Processing*. *Geosciences* 11, no. 10: 407. <https://doi.org/10.3390/geosciences11100407>.
- LENSEN, N., SCHMIDT, G., HANSEN, J., MENNE, M., PERSIN, A., RUEDY, R. Y ZYSS, D. (2019). *Improvements in the GISTEMP uncertainty model*. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, no. 12, 6307-6326, doi:10.1029/2018JD029522.
- KLAUDA, J. B. Y SANDLER, S. I. (2005). *Global Distribution of Methane Hydrate in Ocean Sediment*. *Energy Fuels* 19(2): 459-470. DOI 10.1021/ef049798o.
- NOAA. (2007). *Evolution over time of the contents of the Earth's atmosphere of 4 greenhouse gases*. Tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Major_greenhouse_gas_trends.png.
- SARSAN S. Y ROY, K. V. V. (2021). *Algal Biofuels – Types and Production Technologies*. Chap. 10, 209-244 p, in *Bioenergy Research: Evaluating Strategies for Commercialization and Sustainability*, First Edition. Edited by Neha Srivastava and Manish Srivastava. John Wiley & Sons Ltd. Published 2021 by John Wiley & Sons Ltd.
- SHAIBU, R., SAMBO, C., GUOP, B. Y DUDUN, A. (2021). *A. An assessment of methane gas production from natural gas hydrates: Challenges, technology and market outlook*. *Advances in Geo-Energy Research*, 5(3): 318-332, doi: 10.46690/ager.2021.03.07.
- SOLANO, J. M., VARGAS, C. A. Y GULISANO, A. M. (2021). *Quasi real-time electromagnetic and greenhouse gases monitoring station at Seymour - Marambio Island, Antarctica*. *CZECH POLAR REPORTS* 11 (1): 1-8. DOI: 10.5817/CPR2021-1-1.
- VARGAS, C. A. (2012). *Evaluating total Yet-to-Find hydrocarbon volume in Colombia*. *Earth Sci. Res. J.*, Vol. 16, Special Issue (April 2012): 1-246.
- ZHANG, Z., TANG, Y. Y XU, Z. (2021). *Miniaturization of an Offshore Platform with Medium-Frequency Offshore Wind Farm and MMC-HVDC Technology*. *Energies*, 14, 2058, 1-20 p. <https://doi.org/10.3390/en14082058>.



ENERGÍA MARINA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN COLOMBIA - OCEANICOS

► **Andrés Fernando Osorio Arias**

Profesor Titular, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente - Minas, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín

afosorioar@unal.edu.co

Introducción

El grupo de investigación OCEANICOS en la Universidad Nacional de Colombia ha trabajado el tema de energías marinas y la tecnología offshore. De forma similar, en el Centro Colombo-Alemán de Excelencia en Ciencias del Mar - CEMARIN (www.cemarin.org) que apoya la formación de estudiantes de postgrado, principalmente maestrías y doctorado, se ha fortalecido la línea de energías marinas como una de las líneas estratégicas importantes dentro del tema de aprovechamiento de recursos marinos. También en el CEMARIN se han desarrollado temas de innovación abierta en los cuales los estudiantes de pregrado son bienvenidos a participar a través de algunos retos. Justamente los temas de energía marina y de tecnología son temas de interés recurrente en estos retos.

El CEMARIN trabaja el aprovechamiento de recursos marinos y es de interés también el tema de océano-sociedad, por supuesto, ¿de qué manera se hace más sostenible el paso por este planeta?. Y justamente con las coyunturas que estamos viviendo como mundo, como sociedad global y en el contexto de la década de las Ciencias Oceánicas (2021-2030), se hace cada vez más pertinente estudiar los océanos de manera

transdisciplinar. Es absolutamente pertinente no mirar esto de manera aislada, sino abarcar todos los temas que se presentaron en la cátedra (y este documento) de manera un poco más transversal. Es necesario mirar de manera diferente los océanos e integrarnos al maritorio colombiano, que corresponde al 50% del territorio nacional, mirarlo desde esta perspectiva más integral. Estos argumentos son reforzados en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) ya nos hablan de cambiar el modelo de desarrollo y hay elementos claves que para las energías renovables son importantes: (1) el cambio climático: Hay que cambiar el modelo de mitigación y adaptación al cambio climático, porque el modelo de desarrollo que traemos basado en hidrocarburos tiene que ir cambiando, las mismas industrias de hidrocarburos son conscientes, a esto se suma al incremento en la demanda de energía, porque cada vez estamos más conectados, usando más aparatos, más tecnología, que pueden ser muy pertinentes pero también tienen una serie de impactos a los que hay que prestar atención; (2) el ciclo completo de vida de los productos; y (3) el modelo de sostenibilidad integrando economía, ecología y sociedad.

Se inició este mapa ruta hace más de 10 años, un primer momento de financiación fue del Centro de Investigación en Innovación en Energía (CIEN) liderado por Empresas Públicas de Medellín (EPM), se convocó a algunos profesores y estudiantes (de la UNAL, de la Universidad Pontificia Bolivariana y del CIOH de DIMAR) y se desarrolló el mapa de ruta y se estimó el potencial de energía marina en Colombia. Hoy es mucho lo que se ha recorrido y se ha desarrollado (tesis de maestría y de doctorado sobre el tema) y se tiene un panorama más completo, sumado a temas más novedosos a nivel normativo como la ley de energías renovables no convencionales (ley 1715 de 2014).

Colombia tiene 50% mar, dos costas, Caribe y Pacífica, zonas insulares, y climas muy distintos, hace que las características físicas de los

océanos sean distintas. Hace diez años cuando inició el estudio del potencial energético de Colombia, un 60-70% de la electricidad dependía de centrales hidroeléctricas, un 30% de termoeléctricas y algo de energías renovables. Al día de hoy no han cambiado mucho estas cifras, pero se han introducido un poco más de energías renovables; y hay retos y complejidades que han tenido las hidroeléctricas, como el caso de Hidroituango. Con la variabilidad climática, hay fenómenos como El Niño, por ejemplo, que generan sequías importantes en ciertas épocas, con lo cual los embalses ya no son suficientes y es importante diversificar la matriz energética. Por esta razón, es importante desarrollar las energías renovables. La ley 1715 que habla de las energías renovables en el sistema energético nacional, particularmente en el artículo 23, se habla del desarrollo de la energía de los mares, se habla específicamente de olas, de aprovechamiento de mareas, aprovechamiento del diferencial térmico de los océanos. Un punto importante, es que cuando estas leyes y estas normas fueron desarrollados, no preguntaron a los técnicos, lastimosamente quedó haciendo falta en esta ley los gradientes salinos, donde Colombia es potencia mundial en este tipo de energía (esta en el top 5, de los países con mayor potencial). Sin embargo, es un gran avance contar con una ley de energías renovables no convencionales y que se incluya la energía marina. Igualmente, Colombia ha estado haciendo algunas apuestas, después del acuerdo de paz, en el tema de zonas de posconflicto, zonas rurales donde empezaron a desarrollar el uso de energía renovable o se potencia el uso de nuevas soluciones en zonas que no están interconectadas. Hay zonas rurales cercanas a las costas, en donde posiblemente tendríamos un potencial importante. Hay que llevar energía a las escuelas, hay que conectar un poco más el tema de comunicaciones, la energía es absolutamente necesaria. Por último, en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), Colombia ha hecho apuestas por su cumplimiento, concretamente el objetivo 7 habla de las energías renovables y limpias, el objetivo 6 de acceso al agua, entre otros. Una de las oportunidades

más interesantes que tiene la energía marina está relacionada con no mirarla de manera aislada, sino hablar desde la energía conectada a otros usos (desalinización, industrias marinas, etc.). Colombia ha lanzado en el 2021 la ruta de la energía eólica offshore (Renewables Consulting Group, 2022) y la ruta del hidrogeno (MinMinas, 2022), donde la energía renovable para generar HIDROGENO VERDE (basado en energías limpias) será importante, esto pone a Colombia en un panorama de vanguardia para desarrollar la energía renovable marina.

Energía marina

Hay varias publicaciones científicas, todas en revistas de alto nivel, particularmente en el tema de energía de olas, de gradientes térmico y gradiente salino en Colombia, donde somos referencia mundial. Alrededor de unos once papers (Ortega *et al.*, 2013; Devis-Morales *et al.*, 2014; Ortega *et al.*, 2014; Alvarez-Silva *et al.*, 2014; 2016; 2019; Alvarez-Silva y Osorio, 2015; Osorio *et al.*, 2016b, Arias-Gaviria, 2019, Arias-Gaviria *et al.*, 2020; Roldan-Carvajal *et al.*, 2020). Una publicación de referencia es el “Mapa de ruta de las energías renovables marinas en Colombia” (Osorio *et al.*, 2016a).

¿De dónde vienen estos recursos y cómo se aprovechan? Son cinco fuentes de energía en el oceano: las mareas, energía de las olas, energía de las corrientes, energía de los gradientes térmicos y los gradientes salinos; aunque faltó incluir en nuestros estudios la energía eólica offshore, actualmente hay un proyecto en camino en colaboración con la Universidad Militar y hay otras entidades que han trabajado en ese tema en Colombia, incluido el gobierno nacional (Rueda-Bayona *et al.*, 2019; Renewables Consulting Group, 2022). La metodología se basó en información histórica de modelos numéricos de los servicios meteorológicos europeos (ERA) y norteamericanos (NOAA), entre los cuales se utilizan los modelos como el WW3, el SWAN, el ROMS, información que se puede bajar a escala más fina con otros modelos implementados

para las costas Caribe y Pacífica con las batimetrías provenientes de cartas náuticas. Con datos de satélites y con la información existente de mediciones de boyas oceanográficas, se puede calibrar y validar estos modelos. También hay información local en Colombia medida por el grupo de investigación OCEANICOS, DIMAR y otras instituciones que podría ser incorporada. En ese momento se tuvieron en cuenta algunas de estas fuentes de información, ya que fue un proyecto desarrollado en alianza con DIMAR, con el Centro Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH). Finalmente, de ahí surgieron los mapas de potencial de los recursos marinos.

A nivel de las corrientes marinas, la oceanografía en Colombia y la configuración de la costa hace que no tengamos corrientes altas. Las corrientes máximas son del orden de 0.7 m/s y la tecnología que había en su momento para aprovechamiento era para corrientes de más de 2-3 m/s, se decidió que este no era un recurso que se pudiera aprovechar bajo el nivel de desarrollo tecnológico existente. Sin embargo, se pueden aprovechar las corrientes asociadas a las mareas, el nivel del mar que sube y que baja por la marea astronómica o incluso por la marea meteorológica, principalmente en las zonas de desembocaduras y estuarios de la zona Pacífico, donde hay carreras de marea importantes (del orden de 4 m) hay varios deltas, estuarios y bahías, que muestran velocidades altas. En la zona de bahía Buenaventura, bahía Málaga y en el delta del San Juan, entre otros, las corrientes pueden superar en algunos puntos más de 1 m/s hasta 2-3 m/s en momentos extremos. En su momento tampoco se priorizó, sin embargo, hoy diez años después, se está pensando que este es un potencial aprovechable en algunas zonas. El paradigma ahora es el aprovechamiento del recurso local en comunidades aisladas donde hay mucho potencial para toda la región pacífica. El tema de olas mostró potencial también para territorios no interconectados, aunque cuando comparamos esto con el mundo, con zonas donde hay 40 kW/hora/ml de energía en algunas zonas en el

norte de Europa, pues no es mucho lo que tenemos en Colombia. En el Pacífico colombiano tenemos del orden de 5-6-7 kW/hora/ml con olas altas que se mantienen así todo el año, al ser zonas no interconectadas y donde la potencia solar no es muy alta por la nubosidad, hay un recurso muy importante que se puede aprovechar a nivel de olas. Además, en época seca las centrales hidroeléctricas bajan los niveles y este tipo de energía sería complementaria para el Caribe. Para el caso de la zona entre Barranquilla y Santa Marta se encontraron potenciales de 5 kW/hora/ml (Osorio *et al.*, 2016a).

Energía térmica

La energía térmica es la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo del mar. En algunos lugares del planeta, básicamente en todo lo que son los trópicos, podemos encontrar gradientes térmicos de más de 20 °C. ¿Qué significa esto?, que entre 500 o 1.000 m de profundidad tenemos un cambio en la termoclina del orden de unos 5 °C y de ahí hacia la superficie unos 28-30 °C, es decir, eso mantiene en promedio 20 °C gradiente de temperatura, que es suficiente para usar una tecnología que a partir del gradiente térmico, puede mover una turbina termoeléctrica (o lo que se conoce como ciclo de Rankine). Este potencial ya se ha revisado en muchos lugares del mundo y en Colombia había un potencial importante que no se había observado, en algunos lugares del mundo ya se utilizaba esta tecnología principalmente para enfriamiento, o sea sacar el agua fría del mar profundo para enfriar en lugar de usar aires acondicionados tradicionales. Hay un potencial importante para desarrollar un concepto, la energía no solo para electricidad, sino también para enfriamiento, además, con el agua fría que viene del fondo (Deep Ocean Water, DOW) y con la energía, poder desalinizar y obtener agua para consumo (Osorio *et al.* 2016b). En un territorio como San Andrés y Providencia, por ejemplo, en donde existe ese potencial, se puede desarrollar este concepto. Si tenemos agua y energía, podemos desarrollar también agricultura,

acuicultura y un desarrollo económico sostenible basado en los recursos locales y explorar el concepto de un parque científico-tecnológico de agua de mar profundo. Esto no es algo nuevo, en el mundo se usan estas tecnologías para diversas actividades industriales; Japón, Hawái y Singapur han explorado este concepto. En San Andrés, se encontró estas diferencias térmicas y potenciales durante todo el año para mantener aproximadamente unos 10 MW de capacidad con 20 m³/s (Devis-Morales *et al.*, 2014). Un último estudio doctoral desarrollado, basado en una metodología de aprovechamiento de volúmenes mayores, mostró que se puede llegar hasta 20 MW, con picos de hasta 40 MW de capacidad instalada (según la época climática) y tomas de agua de 45 m³/s sin afectar los ciclos naturales (Arias-Gaviria *et al.*, 2020). Uno de los puntos importantes para San Andrés es que tiene en la zona sur de la isla y en la mitad en la zona suroeste, a menos de 1 km de distancia, el potencial del gradiente térmico a menos de 500 m de profundidad, ¿qué significa?, que con un tubo que pudiera bombear el agua fría de 500 m de profundidad a 1 km de distancia, tendríamos el agua fría para hacer el enfriamiento, que es uno de los mayores consumos energéticos de la isla de San Andrés, además se puede usar la energía para generar agua para consumo y para hacer los desarrollos tecnológicos. Este concepto se llama parque científico-tecnológico de agua de mar profundo (DOW, por siglas en inglés) y fue presentado en Osorio *et al.* (2016b), aquí se presenta un mapa de ruta para desarrollar el concepto teórico y llevarlo a la práctica en el territorio marino en San Andrés. Posteriormente se ha aplicado la metodología del potencial de agua de mar profundo presentada por Arias-Gaviria *et al.* (2020) para todas las islas del Caribe y se encontró que si Colombia desarrolla esta tecnología, seríamos potencia tecnológica y habría una oportunidad también de negocio interesante para las industrias colombianas que estén interesadas en estas energías renovables y abrirse a mercados de otros países, como es el caso de Ecopetrol que está migrando a otro concepto, para introducir energías también renovables en su

portafolio de desarrollo de negocios. Esto sería una oportunidad interesante para la industria colombiana.

Energía de gradiente salino

Definitivamente la tecnología de mayor potencial para Colombia es la Energía de Gradiente Salino (EGS), es una energía que se desarrolla a partir de las diferencias entre agua dulce - agua salada; o gradiente salino, con una zona de alta concentración de salinidad y una de menor concentración, en Colombia se exploraron todas las desembocaduras. Entendamos el concepto de la estratificación del flujo: cuando viene un río, como el río Magdalena, con un alto caudal y descarga sobre un mar salado como como el mar Caribe, se generan unos gradientes de salinidad muy cerca de la costa, no hay fuerzas mareales entonces no hay mucha zona de mezcla a lo largo del ciclo de la marea, con lo cual se puede acceder fácilmente de un punto con mayor salinidad a otro con menor. Se comparó con otros lugares de marea importantes como el Pacífico colombiano, cuando hay mucha mezcla por marea esta estratificación existe, pero a muchos kilómetros de distancia, con lo cual a nivel tecnológico la tubería es más larga, hay más pérdidas y se hace inviable el uso de esta tecnología existente. En Colombia tenemos las condiciones perfectas, particularmente el potencial más alto en el río Magdalena, se hizo este estudio a nivel global, como parte de la tesis doctoral de Óscar Álvarez y Colombia se encontraba en la posición 5 dentro de los lugares con mayor potencial de energía de gradiente salino del mundo (Alvarez-Silva *et al.*, 2016). Por eso somos potencia en energía de gradiente salino en el mundo.

Luego se hizo un estudio a más detalle en otras desembocaduras de Colombia, como el Canal del Dique (Cartagena), el Atrato y el río León (en el golfo de Urabá), por mostrar algunos ejemplos, se encontraron potenciales también altos en estas desembocaduras. Actualmente se está planteando desde la academia (CEMARIN, UNAL, UNINORTE) cola-

boraciones con empresas como Ecopetrol, o como la empresa holandesa REDSTACK, que es la única empresa que tiene una planta real en el mundo y tiene mucho tiempo investigando en el tema, han invertido millones de euros en esta tecnología y quieren traerla a otro lugar del mundo y el mercado colombiano es atractivo. Pero es importante que Colombia no se dedique sólo a importar tecnología, sino que desarrollemos las capacidades. Es muy importante desarrollar masa crítica y para eso estas cátedras, para motivar a la investigación en este tema y el desarrollo tecnológico en este tema.

En esta línea de EGS se ha profundizado y hemos desarrollado con colegas de otras áreas, de mercados de energía, de temas ambientales y del tema tecnológico, una planta piloto a escala de laboratorio. También, se utilizó la dinámica de sistemas para entender de manera más integral cómo implementar un proyecto real (Roldan-Carvajal *et al.*, 2020). Gracias al liderazgo del grupo GRIEQUI (de la UNAL Medellín) liderado por el profesor Carlos Sánchez y algunos estudiantes se ha desarrollado esta línea tecnológica en Colombia. Además, se ha conseguido financiación del Ministerio de Ciencia y Tecnología para desarrollar una planta piloto a escala real en el río Magdalena, esto hace parte de un programa que lidera la Universidad del Norte en alianza con la UNAL y con algunos profesores que son expertos en temas de desalinización, se pretende integrar la EGS con usos de acceso de agua para consumo y allí se tendrá un potencial de desarrollo tecnológico en el país. Este tipo de proyecto ponen a Barranquilla y Colombia como polo para la transición energética, no solo porque lo que ya se esta queriendo implementar a nivel de eólica y solar, sino por los futuros proyectos que a partir de la energía marina pueden generar HIDROGENO VERDE, un potencial de transformación energética.

En conclusión, este es el panorama de Colombia para las energías marinas: tenemos el potencial de energía de olas en el Pacífico, energía

de mareas en el Pacífico, energía de olas también en algunos puntos del Caribe hacia la zona de Barranquilla, Santa Marta más hacia el norte hay potencial importantes de energía de olas, pero sobre todo, el tema de energía de gradiente salino en todas las desembocaduras de ríos del Caribe y la energía de gradiente térmico en San Andrés y también recientemente se ha identificado este potencial también en Santa Marta y en La Guajira, estos puntos se ven representados en el mapa (Figura 12.1).

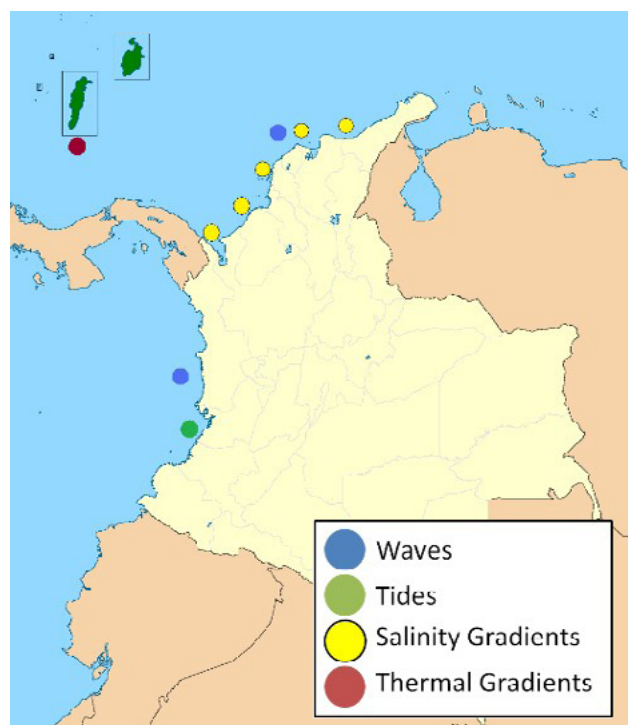


FIGURA 12.1. Mapa de potenciales de energía marina en Colombia.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La energía renovable marina aún no es competitiva con otras energías, cuando se compara el tema de los costos nivelados, hay que desarrollar tecnología, hay que subvencionar en algunos casos, pero si se está comparando esto como, por ejemplo, con el caso de San Andrés, en donde la energía de diésel es financiada, en San Andrés definitivamente hay un potencial para

desarrollar algunos subsidios del gobierno que permitan que esta energía penetre. Ya el camino de la normativa, de la ley de renovables es un camino importante, pero necesitamos seguir investigando y haciendo desarrollos tecnológicos en este tema de la mano de los gobiernos locales y la industria.

Industria offshore y la transición energética

El grupo OCEANICOS (UNAL, Medellín) ha trabajado principalmente en oceanografía operacional, que es tener modelos haciendo predicción para cualquier tecnología offshore, el offshore incluye la exploración de hidrocarburos y se ha trabajado mucho de la mano de la industria de los hidrocarburos, reduciendo los riesgos en el tema de oceanografía operacional, pero en el largo plazo el tema offshore es toda la tecnología de cualquier desarrollo que se quiera hacer en el mar abierto. Básicamente podemos hablar de energías marinas, acuicultura, industrias del fondo marino, el recurso geológico, entre otros, en donde se requiere tecnología offshore. El tema de hidrocarburos offshore que es por donde muchos de los países han empezado a desarrollar tecnología y luego usan esa tecnología para otras áreas, Colombia ha hecho algunas apuestas, la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) ha dado algunos bloques de exploración y nosotros hemos puesto la ciencia y el conocimiento técnico para apoyar este tipo de actividades. Se han desarrollado algunos convenios con Ecopetrol y con el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y se han implementado algunos modelos operacionales que luego se han transferido a la industria. Actualmente (2017-2022) se desarrolla un proyecto del Ministerio Ciencia y Tecnología financiado por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en el que se están formando investigadores en este tema de oceanografía operacional y principalmente en el acople de modelos atmósfera-océano, que trata de entender cómo pasa información numérica de la atmósfera al océano, como el viento, pero a su vez cómo le devolvemos del océano datos a los modelos atmosféricos, como es la temperatura. Este acople entre modelos es un tema bastante complejo y al final los modelos de predicción no solamente sirven para esta industria, sino que sirven para cualquier actividad que desarrollemos en el mar. Todo el tema

de alertas tempranas, de navegación, de alertas ante huracanes como lo de San Andrés y Providencia, significa tener modelos operacionales y toda la sociedad se beneficia. Se requieren mediciones oceanográficas, modelos numéricos de predicción y esquemas de comunicación para los tomadores de decisiones y la sociedad en general. En ese sentido, se requiere formación de ingenieros, de biólogos, de sociólogos, de abogados, no solamente del tema de tecnología y oceanografía, sino todos los que están escuchando estas cátedras son bienvenidos a investigar en el tema marino para hacer las cosas mejor en pro del desarrollo sostenible de nuestros océanos.

¿Qué hemos hecho a nivel de monitoreo?: Usamos tecnología que venden los proveedores internacionales: boyas oceanográficas, sensores de medición de temperatura, salinidad, olas, corrientes, mareas, viento, entre otros. No hemos implementado ningún sistema operacional pero el país tiene estas capacidades para medir y transmitir en tiempo real a través de la DIMAR y los centros de investigación, con varias boyas oceanográficas, pero todavía hay que desarrollar más tecnología propia. El grupo OCEANICOS tiene una patente de un sensor de presión que hoy se encuentra en etapas de pruebas para el mercado, porque ya están en un nivel de maduración tecnológica (Technology Readiness Level) en etapa 8-9, que significa que se ha probado en etapas de producción y ya está listo para el mercado. Igualmente es importante desarrollar tecnología de modelos numéricos acoplados a laboratorios, en la Universidad Nacional de Colombia sede de Medellín se tiene un canal de olas, el primer y único canal de oleaje de este tipo en el país. Algunos de los modelos con los que trabajamos son: a nivel atmosférico, el WRF; a nivel de olas, el WaveWatch y el SWAN; a nivel de corrientes, ROMS y a nivel de escala local, más costera con modelos de derrame de hidrocarburos como el MEUN (desarrollado con grupos de investigadores de química en la UNAL Medellín) (Ramírez *et al.* 2017) o los modelos OpenFoam y XBeach para estudiar procesos de inundación y erosión en las zonas costeras.

La estrategia offshore en la Universidad Nacional de Colombia en alianza con varios socios, se ha centrado en varios frentes: desde el tema

de modelación, hasta el tema normativo, que desarrolló la normativa ambiental para la industria de offshore en Colombia y sus recomendaciones.

También se ha dado un enfoque más tecnológico a las investigaciones, se desarrolló un programa de robótica submarina liderado por la Universidad Pontificia Bolivariana en el que se construyó un ROV, un robot submarino que es capaz de bajar hasta 500 m de profundidad con tecnología colombiana y que es capaz de acoplar tecnologías, operar en el fondo y sacar muestras (agua, sedimentos, etc). A continuación, algunos ejemplos de esas tecnologías que operamos o que hemos desarrollado: En Malpelo hemos aplicado tecnología para la conservación y la biodiversidad, monitoreando permanentemente en alianza con Parques Nacionales Naturales (PNN) con equipos oceanográficos, cadenas de termistores para sacar el perfil de temperatura. Igualmente, en la zona de la reserva Seaflower hemos asistido a algunas expediciones en Cayo Serrana y Serranilla y allí, hemos usado tecnologías de drones, tecnologías de robótica submarina, tecnología para monitoreo oceanográfico para ayudar a entender, por ejemplo, la estabilidad de estos cayos, la conservación en tema de biodiversidad.

Igualmente hemos usado tecnología en San Andrés para monitorear el tema de disipación de energía de olas, aquí hay un trabajo que han desarrollado algunos investigadores, entre ellos el profesor Juan David Osorio de la sede Caribe y el candidato a doctor Julián Prato (ambos investigadores CEMARIN) sobre el tema de protección basada en ecosistemas, en los que se uso tecnología acoplando mediciones oceanográficas con modelos numéricos de dinámica computacional de fluidos.

¿Cuál es el futuro de los océanos? Está en ustedes, está en nosotros, está en los niños, en los jóvenes, donde hemos estado trabajando construyendo capacidades por más de 15 años a nivel de pregrados, maestría y doctorado. Pero todo comienza despertando la sensibilidad en los más niños, con estrategias de divulgación y de apropiación social del conocimiento con niños, ahí está el futuro.

AGRADECIMIENTOS

A.F.Osorio agradece al proyecto “Modelación física en el océano y de hidrocarburos en aguas superficiales y profundas orientada a las operaciones marinas durante todas las fases de la industria petrolera off-shore” contrato FP44842-397-2016, de la Convocatoria 721-2015 para apoyar la formación de capital humano en el marco del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación- SNCTI.

REFERENCIAS

- ARIAS-GAVIRIA, J. (2019). Adoption of sea water air conditioning (SWAC) in the Caribbean: Individual vs regional effects, *J. Clean. Prod.*, 227: 280-291.
- ARIAS-GAVIRIA, J., OSORIO, A. F. Y ARANGO-ARAMBURO, S. (2020). Estimating the practical potential for deep ocean water extraction in the Caribbean, *Renewable Energy*, 150: 307-319. ISSN 0960-1481.
- ALVAREZ-SILVA, O., WINTER, C. Y OSORIO, A. F. (2014). Salinity gradient energy at River mouths. *Environmental Science Technology Letters*. 1 (10): 410-415.
- ALVAREZ-SILVA, O. Y OSORIO, A. F. (2015). Salinity gradient energy potential in Colombia considering site specific constraints. *Renewable Energy*. 74: 737-748.
- ALVAREZ-SILVA, O., OSORIO, A. F. Y WINTER, C. (2016). Practical global salinity gradient energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 60: 1387-1395.
- DEVIS-MORALES, A., MONTOYA-SÁNCHEZ, R., OSORIO, A. F. Y OTERO, L. (2014). Ocean Thermal Energy Resources in Colombia. *Renewable Energy*. 66: 759-769.
- ORTEGA, S., OSORIO, A. F. Y AGUDELO, P. (2013). Estimation of the wave power resource in the Caribbean Sea in areas with scarce instrumentation. Case study: Isla Fuerte, Colombia. *Renewable Energy*. 57: 240-248.
- ORTEGA, S., STENZE, P. L., ALVAREZ-SILVA, O. Y OSORIO, A. F. (2014). Site-specific potential analysis for Pressure Retarded Osmosis (PRO) power plants - The León River example. *Renewable Energy*. 68: 466-474.
- ALVAREZ-SILVA, O., AYMER MATORANA, Y., PACHECO, C. A. Y OSORIO, A. F. (2019). Effects of water pretreatment on the extractable salinity gradient energy at river mouths: the case of Magdalena River, Caribbean Sea. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*. 5 (3): 227-240.
- OSORIO, A. F., ORTEGA, S. Y ARANGO-ARAMBURO, S. (2016A). Assessment of the marine power potential.
- OSORIO, A. F., ARIAS-GAVIRIA, J., DEVIS-MORALES, A., ACEVEDO, D., VELÁSQUEZ, H. I., ARANGO-ARAMBURO, S. (2016B). Beyond electricity: The potential of ocean thermal energy and ocean technology ecoparks in small tropical islands. *Energy Policy*, 98: 713 - 724.
- RAMÍREZ, J., MERLANO, A., LACAYO, J., OSORIO, A. Y MOLINA, A. (2017). A model for the weathering of Colombian crude oils in the Colombian Caribbean Sea. *Marine Pollution Bulletin in Colombia. Renewable and Sustainable. Energy Reviews* 53; 966 - 977.
- THE RENEWABLES CONSULTING GROUP “ROADMAP FOR THE DEPLOYMENT OF OFFSHORE WIND POWER IN COLOMBIA – REPORT FOR CONSULTATION” [HOJA DE RUTA PARA EL DESPLIEGUE DE LA ENERGÍA EÓLICA COSTA AFUERA EN COLOMBIA - REPORTE PARA CONSULTA]; 2022
- ROLDAN-CARVAJAL, M., VALLEJO-CASTAÑO, S., ÁLVAREZ-SILVA, O., BERNAL-GARCÍA, S., ARANGO-ARAMBURO, S., SÁNCHEZ-SÁENZ, C. Y OSORIO, A. F. (2020). Salinity gradient power by reverse electrodialysis: a multidisciplinary assessment in the Colombian context. *Desalination* 2021, 503, 114933, doi:10.1016/j.desal.2021.114933.
- RUEDA-BAYONA, J. G., GUZMÁN, A., CABELLO, J. J. (2019). Wind and Power Density Data of Strategic Offshore Locations in the Colombian Caribbean Coast. *Data Br.* 27, 104720, doi:10.1016/j.dib.2019.104720.

RETOS DE LA EDUCACIÓN EN CIENCIAS DEL MAR EN COLOMBIA

CAPÍTULO 13

PACÍFICO COLOMBIANO: UNA DEUDA DEL PAÍS PARA CON LAS CIENCIAS DEL MAR (y el papel de la Universidad del Valle)

► **Edgardo Londoño-Cruz**

*Profesor coordinador del Doctorado en Ciencias del Mar, Universidad del Valle
edgardo.londono@correounivalle.edu.co*

Introducción

El país tiene una deuda con las ciencias del mar en el Pacífico colombiano. En primer lugar, es importante contextualizar sobre esta área. Con total seguridad, la mayoría de las personas que están leyendo este escrito saben en dónde queda nuestra costa Pacífica, pero probablemente muchos no saben de las características de esta. El Pacífico colombiano se extiende desde Punta Ardita en la frontera con Panamá hasta Cabo Manglares en la frontera con Ecuador (Figura 13.1). Sobre este litoral hay solamente un par de ciudades relativamente grandes: Buenaventura y Tumaco, algunas poblaciones menores como Guapi o Bahía Solano y otros pequeños asentamientos humanos. A diferencia de la costa Atlántica (con alta frecuencia turística), el Pacífico colombiano tiene una amplitud mareal grande (la variación en la vertical entre marea alta y marea baja), la cual alcanza alrededor de 4,5 metros (IDEAM, 2019), lo que sorprende mucho a las personas que visitan esta costa. Si la costa tiene una pendiente relativamente suave, esta gran amplitud mareal

significa que, cuando baja la marea, se puede tener una playa de cientos de metros. Aproximadamente seis horas después, el borde del mar va a estar nuevamente cerca de las construcciones, generando incluso que la playa desaparezca en algunos sitios, a diferencia del Caribe colombiano, en donde la amplitud mareal es pequeña y el cambio, por ejemplo, en la longitud de la playa, es casi imperceptible.

La salinidad en las aguas de esta costa es relativamente baja. En esta región del país llueve mucho, y una de las razones para que esto ocurra es que la cordillera Occidental, que corre a lo largo de esta, está muy cerca, entonces todos los vientos cargados de agua simplemente ascienden, la humedad se condensa y luego se precipita. Todo esto genera que a lo largo del Pacífico colombiano existan muchos ríos, todos muy cortos, pero muy caudalosos que llegan al mar y lo diluyen, por lo cual la salinidad es relativamente baja (de 28 comparada con el promedio mundial, que es de 35 más o menos) (Málikov y Villegas-Bolaños, 2005). Por su parte, la temperatura promedio superficial del mar a lo largo del año está alrededor de 27,4 °C, aunque hay eventos más fríos durante surgencias localizadas y eventos de calentamiento, como por ejemplo durante el fenómeno de El Niño.

El Pacífico colombiano tiene una costa bastante interesante desde el punto de vista biológico ya que se pueden encontrar manglares, playas arenosas y costas rocosas (INVEMAR, 2020). Las costas rocosas y los arrecifes coralinos están principalmente en la Isla Gorgona, en Malpelo y en el norte del Pacífico colombiano, con algunas excepciones hacia el sur (Isla del Gallo en Tumaco) y en la región central (Bahía Málaga y Bahía de Buenaventura).

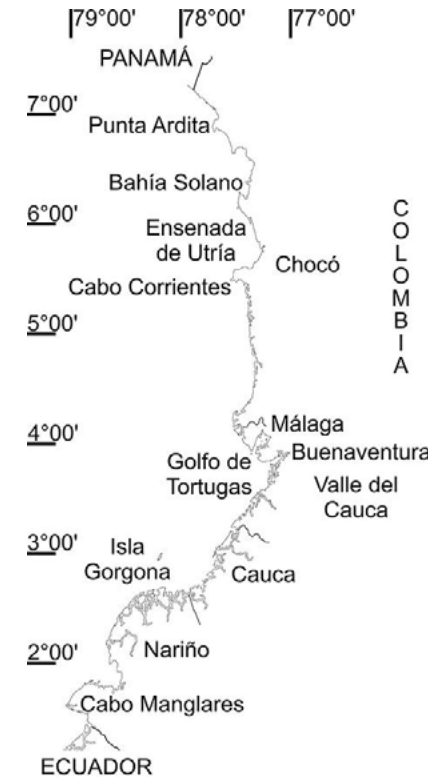


FIGURA 13.1. Croquis de la zona marino-costera del Pacífico colombiano.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Como se mencionó anteriormente, básicamente se podrían considerar como ciudades importantes a Buenaventura, Tumaco, Guapi y Bahía Solano, aunque hay un gran número de asentamientos humanos más pequeños a lo largo de la costa, pero dadas las condiciones, el acceso es muy difícil. Únicamente se puede llegar a Buenaventura y Tumaco por carro; a Guapi y a Bahía Solano se llega por aire o mar. Aunque hay aeródromos más pequeños en otras localidades sobre esta costa, estos son para avionetas. Lo anterior hace que en la mayoría de los casos el transporte sea por agua, ya sea en lancha o barco. Por lo tanto, para llegar a otras localidades de este litoral, es necesario llegar a Buenaventura, Guapi, Tumaco o Bahía Solano en primer lugar, lo cual trae consigo una gran cantidad de implicaciones tanto logísticas como económicas. Vivir en la costa Pacífica colombiana es difícil, esto se ve reflejado en la infraestructura educativa y los servicios de salud, los cuales son deficientes, sumado a esto, existe una carencia en la prestación de servicios públicos básicos.

Durante una visita a la Isla Gorgona, viaje que se hizo a través de Guapi, la cual coincidió con el paro nacional, se pudo evidenciar escasez y carestía en los alimentos. La dificultad en el acceso a este litoral, en

donde todos o casi todos los alimentos llegan por mar, impone mayores costos de vida. En general, los costos de los insumos en este litoral son muy altos. Por ejemplo, un galón de gasolina está por encima de los 11.000 pesos. Entonces si se considera que los alimentos y todo lo que se necesita llega a estos lugares por barco, se puede entender cómo los precios se incrementan. Además, los pobladores tienen que moverse hacia las cabeceras municipales utilizando botes con motores fuera de borda para su transporte, los cuales funcionan con gasolina, la cual es costosa. Todo esto suma para que el costo de vida sea muy elevado en estos lugares, considerando además que muy probablemente los ingresos por familia son, quizás, bastante reducidos. Estos factores generan problemas de marginalidad y es evidente el abandono estatal en estas zonas. Por ejemplo, durante diferentes viajes a Guapi a lo largo de varios años, la carretera entre el aeropuerto y el pueblo se ha encontrado totalmente destruida. Sin embargo, y de acuerdo con Bogotá (en donde no se dan cuenta de lo que realmente pasa en las regiones), esa carretera había sido pavimentada tres o cuatro veces. Afortunadamente, en este momento esa carretera está en mejores condiciones.

¿Qué ha hecho la Universidad del Valle?

La Universidad del Valle es quizás la mayor universidad en el suroccidente colombiano, no es tan antigua, se inauguró en junio de 1945, esto significa que, en la actualidad, tiene más o menos unos 76 años desde su fundación. Aunque anteriormente se dijo suroccidente colombiano, realmente la Universidad tiene influencia en todos los departamentos costeros del Pacífico de nuestro país, desde el sur hasta el norte: Nariño, Cauca, Valle del Cauca y Chocó, aunque evidentemente con mayor influencia en el Valle del Cauca. Por otro lado, el Departamento de Biología, creado hace aproximadamente 55 años, cuenta con 26 profesores nombrados, de los cuales más o menos siete tienen intereses directos con la biología marina, aunque los demás desarrollan también investigación en la costa. Curiosamente, la gente no sabe que en la Universidad del Valle

se enseña Biología Marina; pero sí, desde hace 44 años se viene haciendo, para lo cual se creó el Programa Académico de Biología, en donde se hizo énfasis en Biología Marina desde 1984. En la Universidad del Valle la carrera de biología se divide en cinco áreas: genética, entomología, botánica, zoología y biología marina. Pero además del Departamento de Biología y del programa académico de Biología, también tenemos otras instancias dentro de la universidad que aportan al conocimiento y al apoyo que se puede hacer en la costa del Pacífico colombiano, entre ellas la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), con una vasta experiencia en la costa del Pacífico colombiano, por ejemplo, en la parte del canal de acceso al puerto de Buenaventura, el principal puerto de Colombia. En la Facultad de Humanidades se encargan de la parte social, la cual es supremamente importante para nuestra universidad, por lo cual se han interesado por conocer la forma de ver la vida de los habitantes del Pacífico colombiano.

La Universidad del Valle tiene nueve sedes regionales, una de ellas es la regional Pacífico en Buenaventura, la cual funciona desde 1990. En esa Sede en algún momento funcionó el programa académico de Biología. En Buenaventura también hay una Estación Científica del Departamento de Biología, en la cual se llevan a cabo diferentes actividades, en este momento, por ejemplo, se está apoyando al SENA de Buenaventura, que estaba en reconstrucción de sus instalaciones y por lo tanto la universidad le ha facilitado estos espacios para que ellos puedan realizar su trabajo.

La gente del Pacífico colombiano es gente que tiene muchísimo conocimiento autóctono, propio de su ecosistema, son personas supremamente hábiles; sin embargo, hay un poco de ausencia de conocimientos técnicos y allí es donde el aporte de las universidades en general y de la Universidad del Valle en particular es importante. Los investigadores de esta universidad desde hace mucho tiempo se han encargado de trabajar

en toda la zona, han ido desde Punta Ardita hasta Cabo Manglares, aunque el mayor esfuerzo y, por lo tanto, las principales investigaciones se han hecho en regiones como Buenaventura, el Parque Nacional Natural Uramba-Bahía Málaga, el Parque Nacional Natural Gorgona y el Santuario de Fauna y Flora Malpelo. En todos estos lugares se ha aportado al conocimiento de la biodiversidad, al manejo y la conservación de esta y al conocimiento de los ecosistemas que hacen parte de todo este litoral. Gracias a las investigaciones que la Universidad del Valle ha realizado a lo largo y ancho de la costa Pacífica, sitios como Utría, Uramba-Bahía Málaga, Gorgona, Sanquianga y Malpelo han tenido mucha información con la cual han podido declararse Parques Nacionales Naturales. En todo esto se ha hecho mucho relacionamiento con la comunidad, se ha trabajado bastante la zona de Bahía Málaga, en el Archipiélago de la Plata con las personas de allí, pero también en zonas como Piñas (en Juradó), Utría y Bahía Solano. Realmente se ha tenido bastante interacción con la comunidad y siempre hemos sido bienvenidos.

Además del aporte en el conocimiento de la biodiversidad marina del Pacífico colombiano, desde especies hasta ecosistemas, la universidad desarrolló estudios en el cultivo del camarón, hizo experimentación sobre el crecimiento de moluscos y peces marinos en cautiverio, y ahondó en el conocimiento de la biología poblacional de especies de interés comercial y la generación de productos de biotecnología para la conservación de alimentos de origen marino. En la parte social y de extensión, la Universidad del Valle hace parte de los comités nacionales y locales de Minciencias (anteriormente Colciencias), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), el CEMARIN, la Red de Centros de Investigación Marina, el Doctorado en Ciencias del Mar, el Comité del Corredor del Pacífico Oriental Tropical y en muchas otras instancias.

También es importante resaltar que la Universidad del Valle posee la principal colección de organismos marinos del Pacífico colombiano,

lo cual es supremamente importante desde el punto de vista científico, pero también social. Esto es un tesoro que tenemos en la universidad y muchos de los profesores tienen bastante experticia en grupos tan importantes como moluscos, crustáceos, equinodermos y peces. También hay profesores que trabajan con arrecifes coralinos, principalmente en Gorgona (pero también en Malpelo), en donde hay principalmente corales ramificados, aunque también se encuentran algunas especies de corales masivos. En otros grupos poco conocidos hay mucho interés, a pesar del poco conocimiento, por ejemplo, en cnidarios (corales, anémonas, medusas) el interés es alto, pero la experticia es relativamente baja; o con esponjas, donde se cuenta con expertos de talla mundial como el profesor Sven Zea con el cual ya se han hecho aproximaciones para conocer un poco más de estos organismos en nuestro territorio Pacífico. Los profesores e investigadores de la Universidad del Valle tratan de cubrir una amplia gama de organismos. A pesar que en esta charla solo se incluyeron grupos animales, es evidente que en esta universidad hay científicos que se dedican o que tienen muchísimo conocimiento e interés sobre plantas, por ejemplo, los manglares, los cuales conforman uno de los principales ecosistemas que existen en el Pacífico colombiano: árboles de mangle gigantes, probablemente los más grandes del mundo, no los más diversos pero sí los de mayor talla, que llaman la atención de profesores que se dedican a investigarlos; o profesores que trabajan con algas marinas que en el caso del Pacífico colombiano tienden a ser muy pequeñas comparadas, por ejemplo, con las del Caribe, pero posiblemente, contengan una alta diversidad.

Frutos de todo este aporte hecho por la Universidad del Valle en la costa del Pacífico colombiano se ven reflejados en: seis grupos de investigación reconocidos por Minciencias, la formación de un poco más de 200 profesionales en biología marina, más de 15 con maestría y alrededor de 15 graduados de los doctorados en Ciencias del Mar y Ciencias-Biología con énfasis en Biología Marina. Además, se han

generado alrededor de 750 productos de conocimiento que están disponibles para la comunidad en general y que brindan apoyo para el manejo de los espacios marinos en la costa Pacífica colombiana, entre los que se incluyen artículos científicos en revistas indexadas, tanto nacionales como internacionales, libros y capítulos de libros, ponencias en diferentes eventos a nivel internacional y nacional y una cantidad menor que lo anterior, pero también importante, de documentos técnicos y documentos en revistas no indexadas. Toda esta trayectoria de la Universidad del Valle en la costa Pacífica, la interacción con los grupos sociales, y la interacción con otras instancias en la universidad permitió crear el Instituto en Ciencias del Mar y Limnología (INCIMAR) de la Universidad del Valle, en donde participan alrededor de 10 grupos de investigación adscritos a tres facultades: Ciencias Naturales y Exactas, Ingeniería y Humanidades y que se enfocan en los ejes natural y ambiental y sociocultural. Este instituto es muy importante, pues incluye el componente sociocultural, que es clave en la vinculación con la sociedad y en el reconocimiento de las dificultades que tienen nuestras zonas más alejadas en su desarrollo.

» **PARA TERMINAR, ESTAS SERÍAN ALGUNAS CONCLUSIONES:**

- *La costa Pacífica colombiana es un lugar especial en el planeta, realmente es espectacular cuando uno está allá, pero se desconoce bastante.*
- *Gran parte de este desconocimiento es quizás debido al abandono estatal al que la tenemos sometida; los pobladores de la costa pacífica colombiana son gente amable y honesta; sin embargo, algunos de los males del interior del país los han agobiado y probablemente han afectado a algunas personas durante algún tiempo.*
- *Nosotros como académicos, como población que está interesada en esta parte del país, deberíamos tratar de impedir que estos males contagien a los lugareños, pero también debemos tratar de que haya una apertura a otro conocimiento, para que las comunidades se vean beneficiadas y probablemente mejoren sus condiciones de vida.*

.....
REFERENCIAS

IDEAM. (2019). *Pronóstico de Pleamares y Bajamares en la costa Pacífica colombiana*. Bogotá

MÁLIKOV I. Y VILLEGAS-BOLAÑOS N.L. (2005) *Construcción de Series de Tiempo de Temperatura Superficial del Mar de las Zonas Homogéneas del Océano Pacífico Colombiano*. Boletín Científico CCCP 12:79-93. https://doi.org/10.26640/01213423.12.79_93



LA EDUCACIÓN SUPERIOR DE LAS CIENCIAS MARINAS EN EL SIGLO XXI

► **Andrés Franco Herrera**

*Vicerrector Académico, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
andres.franco@utadeo.edu.co*

La educación universitaria como no se conoce

Uno de los temas más relevantes en la actualidad es la forma como se está abordando la educación superior de las ciencias marinas en Colombia. El sistema universitario nacional ha tenido un desfase temporal entre las necesidades de formación que tiene el sector productivo asociado a las ciencias marinas y lo que las universidades ofrecen en sus planes de estudios y en el contenido de sus asignaturas. Peor aún, son pocas las iniciativas de esquemas de formación basadas en el emprendimiento de los estudiantes, que los lleven a ser empleadores y no empleados. A esto se suma que las nuevas generaciones de estudiantes presentan unas intenciones de formación muy diferentes a aquellos que ingresaron a las aulas en los años 80 o 90 y es difícil mantener un sistema de formación tipo “rebaño intelectual”, en el que se lleva a los estudiantes por unas rutas de aprendizaje que requieren algunos prerrequisitos para poder recorrer estos caminos y llevar a feliz término una formación profesional.

Estas rutas críticas y rígidas de formación muy probablemente irán desapareciendo en el corto plazo, con los potenciales riesgos de formación que ello implica. Las Universidades se van a encontrar con estudiantes en ciencias marinas -y en las otras profesiones-, que querrán tomar ciertas asignaturas, uno u otro conocimiento, de acuerdo con sus principios y sus proyectos de vida y a lo que ellos creen deben ser los insumos a nivel universitario, incluso sin el interés de lograr un título profesional, sino de probablemente adquirir ciertas competencias que, en el marco de su autonomía de vida, consideran deben tener. Esto será un cambio radical para la educación en Colombia.

Actualmente, se podría definir la ecuación de los profesionales del futuro para los jóvenes de colegio y universidad del siglo XXI, quienes se caracterizan por el deseo constante de ser autónomos, urbanos, flexibles, digitales, emprendedores e innovadores, pero que desean integrar una serie de competencias en un sistema de educación flexible, que les permita prepararse para ser competitivos en el marco de la cuarta y quinta revolución industrial de los sistemas ciberfísicos, de la inteligencia artificial y de la autonomía de las máquinas (Figura 14.1).

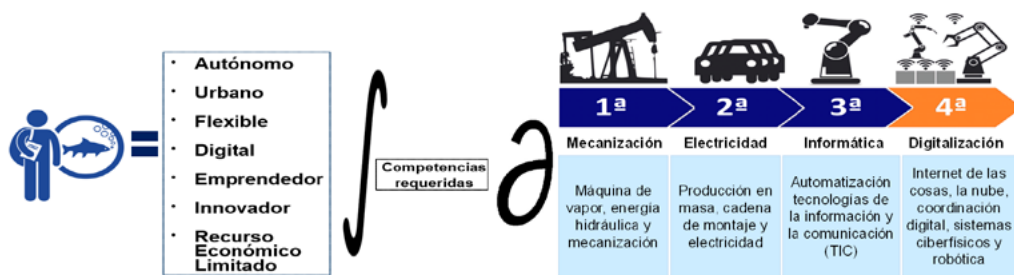


FIGURA 14.1. Ecuación del profesional del futuro, teniendo en cuenta su idiosincrasia actual y su inserción en la cuarta y quinta revolución industrial.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA Y MODIFICADO DE ECONOMIPEDIA (2021).

Esta ecuación conceptual es muy diferente a como se desarrollaba la formación profesional en décadas pasadas, un poco más dependiente

de las directrices de la institución y enmarcada en planes de estudio rígidos. No obstante, hoy se pueden identificar dos vertientes poblacionales de estudiantes de acuerdo a estas tendencias: aquellos que quieren seguir esos planes de estudio tradicionales, respetar las rutas críticas de conocimiento, cumplir prerequisites y que cuentan con algún tipo de recursos para pagar matrículas completas en las instituciones de educación superior públicas o privadas; y aquellos que buscan un camino dentro de sus proyectos de vida, donde quieren tener un conocimiento específico y una autonomía para decidir cuál es la construcción de saberes que quieren integrar y obviamente, no tener que cumplir con prerequisites. En ésta se incluyen jóvenes que no tienen los recursos para pagar una matrícula completa, pero que desean acceder a las universidades para adquirir algún tipo de competencias que dentro de su autonomía y libertad consideran necesario adquirir o fortalecer.

Hacia un plan de estudio actual en ciencias marinas

La gran mayoría de universidades colombianas que imparten formación en ciencias marinas presentan un plan de estudios conformado por una fundamentación básica, en la que se tiene un fuerte componente hacia lo Bio + Eco, además de las ciencias básicas, representadas en la física, química, matemáticas, cálculos, estadística. Posteriormente, hay un componente específico muy enfocado al contexto de la biodiversidad marina y costera, para que los estudiantes tengan conocimiento profundo de la riqueza de flora y fauna. Se suman algunos conceptos que tocan la puerta del sector productivo, especialmente en lo que tiene que ver con la acuicultura, pesquerías y más recientemente, bases de políticas ambientales muy enfocadas al manejo integral de los ecosistemas marinos y costeros.

Si bien es un modelo de estudio válido actualmente, es importante contar con un esquema de educación más fresco, con proyección al futuro laboral de los profesionales en ciencias del mar, enmarcado en aquella ecuación del futuro profesional (Figura 14.1). Hay una serie de documentos y políticas que pueden ayudar a diseñar ese plan de estudios del siglo XXI, como pueden ser los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UNDP, 2021), en el que un programa de ciencias marinas actual puede ser permeado por casi la totalidad de ellos. A esto se suma el CONPES 3990 Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030 (CONPES, 2020), donde se delimitan unos aspectos fundamentales para la empleabilidad, la investigación, la producción marítima, la sostenibilidad, la política marina, las economías azul y verde, entre otros. También se cuenta con las propuestas a 10 y 15 años hechas por la Misión Internacional de Sabios-2019, que tiene un capítulo exclusivo a los océanos y los recursos hidrobiológicos (Franco-Herrera *et al.*, 2020) y donde se resalta precisamente la importancia de la educación marina, de la política de datos abiertos, del cambio climático, el valor del recurso agua y el fortalecimiento de sistemas productivos ecosostenibles. Finalmente, se ha empezado a recorrer el Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030), que busca que la sociedad y el planeta logre tener un océano limpio, saludable, resiliente y productivo, seguro, asequible e inspirador y transparente (UNESCO y COI, 2019).

¿Cómo abordar entonces este desafío académico? A continuación, se hacen unas propuestas generales de las que se podrían considerar saberes y competencias adicionales necesarias para la ciencia marina del futuro inmediato. Un futuro profesional en ciencias marinas debería tener:

- A.** Formación básica en innovación y emprendimiento.
- B.** Los idiomas seguirán siendo fundamentales, ya no sólo en inglés sino también el mandarín.
- C.** Conceptos y habilidades en modelado y simulación, que le permitan predecir,

así sea de una manera teórica cómo van operar los socio-ecosistemas.

- D.** Conocimientos básicos de inteligencia artificial y robótica marina. Colombia tiene una necesidad sentida de ampliar su conocimiento sobre el océano profundo y para ello la robótica es básica. Incluso, conocimientos básicos de ingeniería electrónica serían igualmente relevantes.
- E.** Habilidades en Machine Learning. Las ciencias naturales deben aprender de ese aspecto que está, entre otras cosas, muy asociado a los dos aspectos anteriores, es lo que se conoce profundamente como Deep Learning Systems.
- F.** Profundas bases humanistas, lo cual debe tomar más relevancia, para que el entender, comprender, conservar y hacer uso sostenible de los recursos, tenga una visión integral del ser humano como sujeto de la naturaleza y no como predador de la misma y que realmente el ejercicio científico y académico conduzca a lograr mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad. El componente humanista, aunque suene contradictorio e irónico, en la revolución de las máquinas y en la inteligencia artificial, es donde más profundidad debe tener. En ese sentido, es raro encontrar planes de estudios donde haya temas muy enfocados a la sociología, a la antropología, al conocimiento histórico de nuestros pueblos fluviales y marítimos, esto es fundamental porque siempre -hoy o mañana-, los profesionales en ciencias marinas serán parte de una sociedad donde se debe trabajar y/o hacer emprendimientos, para el bien de la naturaleza, pero también de la sociedad.
- G.** Conocimientos en bioeconomía, administración y finanzas, así como en normatividad y legislación.

Muchas de las asignaturas que actualmente se encuentran en planes de estudios asociados a programas en ciencias marinas son aún vigentes, pero requieren una revisión y actualización de contenidos, donde tecnologías como los ROV's, el sensoramiento remoto, las ecosondas 3D, piston-core automatizados, ADCP, redes automáticas de flujo continuo, por ejemplo, sean parte del aprendizaje de nuestros estudiantes.

Por ejemplo, no se puede negar que una de las líneas de desarrollo en país va a ser la minería marina, no solo para la explotación de gas y de petróleo y las exploraciones que actualmente se hacen en los bloques definidos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), sino también por una serie de metales básicos para la industria digital. Esas exploraciones en el océano profundo requerirán biólogos marinos, con alto conocimiento en robótica. A esto se suma la importancia de seguir fortaleciendo la formación profesional en áreas del saber cómo la bioprospección, la maricultura, incluso en glaciología. Se debe recordar que los mares no tienen fronteras políticas, geográficas, ni se rigen por acuerdos. Al día de hoy, por ejemplo, se tiene muy claro que el Pacífico Oriental Tropical tiene influencia de aguas Intermedias de la Antártica a gran profundidad, las cuales también llegan a la Gran Cuenca del Caribe. Por lo cual, tener conocimientos más allá de las fronteras marinas tropicales es relevante y necesario.

REFLEXIÓN FINAL

No cabe duda de que un país altamente biodiverso, con más del 44% de su territorio constituido por el mar, deba tener profesionales en ciencias marinas con una fuerte formación en el conocimiento de esta riqueza natural. Sin perder esto, es relevante también que los planes de estudios se proyecten hacia la cuarta y quinta revolución industrial y hacia las tendencias de vida de las nuevas generaciones de estudiantes autónomos y con gran interés de emprender e innovar. Colombia lo puede y debe hacer, para cumplir con el compromiso de cuidar, preservar y usar responsablemente los mares y costas del territorio nacional.

REFERENCIAS

CONPES. (2020). *Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030*. Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, D.C. 91 p.

ECONOMIPEDIA. (2021). *Tercera Revolución Industrial*. (14 de octubre de 2021). <https://economipedia.com/definiciones/tercera-revolucion-industrial.html>.

FRANCO-HERRERA, A., SÁNCHEZ-MUÑOZ, J.A., CANTERA KINTZ, J. R., GUTIÉRREZ, F. DE P., PEÑA, E., GUERRA, W., REYNOLDS, J. Y SPEICH, S. (2020). *Colombia, la oportunidad del agua: dos océanos y un mar de ríos y aguas subterráneas: Propuestas del Foco de Océanos y Recursos Hidrobiológicos*. Vicepresidencia de la República de Colombia; Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. *Misión de Sabios Colombia* – 2019. Vol. 7. Bogotá, D.C. 460 p. ISBN 978-958-5135-08-6 (impreso). ISBN 978-958-5135-09-3 (digital).

UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME). (2021). *What are the sustainable Development Goals? United Nations Development Programme*. Disponible on-line: https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&_src=CENTRAL&_src2=GSR&gclid=EAIaIQobChMI8bSR4_7J8wIVyP_jBx06VgqREAYASAAEgJShPD_BwE. Fecha de consulta: 14/10/2021.

UNESCO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA) Y COI (COMISIÓN OCEANOGRÁFICA INTERGUBERNAMENTAL). (2019). *La ciencia que necesitamos para el océano que queremos*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Flandes. 24 p.

BIODIVERSIDAD
MARINA:
CONOCER PARA
CONSERVAR

CAPÍTULO 15

HISTORIA DE LA FICOLOGÍA EN COLOMBIA

► **Brigitte Gavio**

*Profesora Asociada, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá
bgavio@unal.edu.co*

Introducción

Colombia es considerado un país megadiverso (wwf-Colombia, 2017), y alberga una diversidad biológica inmensa. El país tiene un territorio marítimo amplio, que corresponde aproximadamente a 892.118 Km², casi el 45% de la extensión nacional (cco, 2014), siendo el único país del continente sudamericano en tener costas en ambos océanos, el Pacífico y el Atlántico. Sin embargo, el conocimiento de los ecosistemas marinos y costeros de Colombia es todavía incipiente: se estima que apenas el 0,51% ha sido cartografiado a escala 1:100.000. Según esos estudios, los ecosistemas marinos del Caribe colombiano son constituidos por algas calcáreas sobre sedimentos (32,2%), asociaciones de algas (17,9%), praderas de pastos marinos (14,9%) y arrecifes coralinos (35%). En el Pacífico se han identificado fondos arenosos sumergidos, fondos intermareales y fondos lodosos. Los corales y las asociaciones de algas tienen una cobertura inferior al 0,01% (wwf-Colombia, 2017).

Las macroalgas constituyen un componente fundamental de todos los ecosistemas costeros, porque son productores primarios y por ende sostienen la cadena trófica. En el Caribe, debido a la sobre pesca de

peces herbívoros en los últimos 60 años, los arrecifes coralinos han sufrido un deterioro importante, que ha llevado gradualmente de un ecosistema dominado por corales a uno dominados por macroalgas, un fenómeno conocido como cambio de fase (McManus y Polsenberg, 2004). Adicionalmente, la descarga de nutrientes favorece el florecimiento masivo de especies oportunistas, que puede cubrir áreas bastante extensas (Wang *et al.*, 2020). El estudio de estos organismos es fundamental para entender cambios ecosistémicos a pequeña y gran escala, y entender mejor las interacciones interespecíficas en ambientes tropicales.

A pesar de su importancia, en Colombia las macroalgas no han recibido la debida atención desde un punto de vista científico.

Costa atlántica

En la costa Caribe, las primeras recolectas de algas datan aproximadamente de la mitad del siglo XIX, cuando Linden y Schott visitaron Cartagena (1842-43 y 1857) (Bula-Meyer, 1998). Casi un siglo después, en 1938, Schmitt recolectó algunas macroalgas de la isla de Providencia. El año siguiente, William Randolph Taylor, a bordo de las Allan Hancock Expeditions a lo largo del Caribe, visitó la costa colombiana en donde logró muestrear (Taylor, 1942). Todo este trabajo fue recopilado por el mismo Taylor (1960) en su obra magna, en la cual el autor cita 109 especies para la costa Caribe colombiana, sin especificar el sitio de colecta. A partir de los años 1970s, Reinhard Schnetter estudió la flora marina en mucho más detalle, concentrándose principalmente en la región de Santa Marta y las islas del Rosario (p. ej. Schnetter, 1969; 1972; 1975; 1977; 1978; 1980). Desde finales de los años 1970s, Germán Bula-Meyer se dedica al estudio de las macroalgas marinas del país, enfocándose especialmente en el área del PNN Tayrona y las islas del Rosario (p. ej. Bula-Meyer 1980, 1982a; 1982b; 1983; 1985; 1987; 1997). Para el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Barriga-Bonilla *et al.* (1969) y Kapraun (1972) reportan algunas especies para la isla de San

Andrés. Solamente en 1997 se publica el primer trabajo ficológico sobre el Archipiélago, en donde se reportan 171 especies, todas de los atolones oceánicos del Departamento (Díaz-Pulido y Bula-Meyer, 1997). Bula-Meyer (1998) reportó 472 especies para el Caribe colombiano. Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz (2003) publicaron el listado más reciente, en donde dividen la costa del país en sectores. Los autores reportan 565 especies, que no están homogéneamente distribuidas a lo largo de la costa del país. El sector con menor diversidad reportada es Morrosquillo, con apenas 29 especies, mientras que el de mayor diversidad es el PNN Tayrona, con 364 taxa. Muchas áreas han sido muy poco exploradas, y en algunos sectores (p. ej. La Guajira) los reportes son casi exclusivos de la franja intermareal (Bula-Meyer, 1998). Adicionalmente, la información presentada por Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz (2003) aparentemente presenta un sesgo, debido a una subrepresentación de las algas rojas en algunos sectores, por ejemplo, el Archipiélago de San Andrés y La Guajira, como demuestran los índices de Feldmann y Cheney (Tabla 15.1).

Después del prematuro fallecimiento de Bula-Meyer, hubo un vacío de casi una década, desde 2001 hasta 2011, tiempo durante el cual prácticamente no hubo estudios florísticos para la costa Caribe del país. A partir de 2011, las investigaciones se enfocaron principalmente en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, que, a pesar de tener una extensión marítima de casi 180.000 Km², reportaba solamente 202 taxa, comparado con el PNN Tayrona que, con solo 50 Km² de aguas marinas, albergaba 364 especies (Díaz-Pulido y Díaz-Ruiz, 2003). Se desarrollaron varias campañas y expediciones para el muestreo de macroalgas tanto en las islas principales (San Andrés, Providencia y Santa Catalina) como en las islas-cayos del Archipiélago: Albuquerque y Bolívar en el sector sur, y Quitasueño, Serrana y Roncador en el sector central. Desde 2016, la participación en las Expediciones Científicas Seaflower, organizadas por la Comisión Colombiana del Océano (CCO), y con la participación de entidades gubernamentales como la Armada Nacional, DIMAR y MinCiencias, ha

permitido el muestreo en varios atolones, algunos de los cuales muy poco explorados desde el punto de vista ficológico.

TABLA 15.1. ÍNDICES DE FELDMANN Y CHENEY CALCULADOS POR SECTORES A PARTIR DE LOS DATOS DE DIAZ-PULIDO Y DIAZ-RUIZ (2003). PARA EL ÍNDICE DE FELDMANN, VALORES MAYORES A 4 INDICAN UNA FLORA CON AFINIDAD TROPICAL, Y VALORES INFERIORES A 2.5 UNA AFINIDAD DE AGUAS FRÍAS. PARA EL ÍNDICE DE CHENEY, VALORES SUPERIORES A 6 INDICAN AFINIDAD TROPICAL, Y VALORES INFERIORES A 3 UNA AFINIDAD DE AGUAS FRÍAS. EL ÍNDICE DE FELDMANN SE CALCULA ASÍ: R/P ; EL ÍNDICE DE CHENEY: $R+C/P$. DONDE R ES EL NÚMERO DE ESPECIES DE ALGAS ROJAS, C EL NÚMERO DE ALGAS VERDES Y P EL NÚMERO DE ALGAS PARDAS (CORMACI, 2008).

ÍNDICE	GUAJIRA	TAYRONA	MAGDA-LENA	MORROS-QUILLO	ISLAS DEL ROSARIO	DARIÉN	SAN ANDRÉS	TOTAL
Índice de Feldmann	2.05	4.19	3.7	3	5.31	4.39	2.05	4.48
Índice de Cheney	3.54	5.78	6.52	6.25	9.56	6.57	4.51	6.84

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Albis-Salas y Gavio (2011; 2015), Ortiz y Gavio (2012), Reyes-Gómez *et al.* (2013; 2021), Reyes-Gómez y Gavio (2017), Gavio *et al.* (2013; 2015a), Barrera *et al.* (2016), Rincón-Díaz *et al.* (2014; 2016; 2018) y Vega-Sequeda *et al.* (2015) reportan una gran diversidad de especies que no había sido observada anteriormente en las aguas del Archipiélago: la mayoría de estos taxa son algas de dimensiones reducidas, epifitas, que pasan desapercibidas fácilmente. Gran parte de estos nuevos registros son algas rojas, mientras Reyes-Gómez *et al.* (2013) reportaron nuevos morfotipos de cianobacterias, algas muy poco estudiadas en el país. Gavio *et al.* (2013) describieron una nueva especie de alga roja, *Crouania pumila* Gavio, Reyes-Gómez y Wynne, mientras Ortiz y Gavio (2012) exploraron la diversidad de algas flotantes que llegan a las playas de la isla de San Andrés. Gavio y Mancera (2015) reportaron florecimientos masivos del alga verde *Chaetomorpha linum* (O.F. Müller) Kützing, posiblemente una consecuencia de la nutrificación de las aguas costeras de la isla, mientras Gavio *et al.* (2015b) y Gavio y Santos-Martínez (2018) reportaron arribazones masivas de *Sargassum* pelágico y

sus posibles impactos negativos sobre las tortugas marinas. Rincón *et al.* (2016; 2018) reportaron dos especies posiblemente introducidas: *Griffithsia capitata* Børgesen y *Wrangelia gordoniae* K.E. Bucher, D.L. Ballantine, C. Lozada-Troche y J.N. Norris: La primera especie ha sido reportada para la Macaronesia, es decir, las islas Canarias y las Azores, en el Atlántico oriental. El primer reporte en el Caribe es para la isla de San Andrés (Rincón-Díaz *et al.*, 2016) y ha sido observada en otras localidades del Archipiélago (datos no publicados). *Wrangelia gordoniae* fue descrita recientemente a partir de especímenes recolectados en varias localidades del Caribe (Bucher *et al.*, 2014); sin embargo, los autores mencionan que es una especie bastante conspicua, que había sido mal identificada en el pasado, pero que no está presente en colecciones de herbario con anterioridad a 1978. Por lo tanto, los autores sugieren que la especie pudo haber llegado al Mar Caribe en tiempos recientes (a finales de los años 1970s), posiblemente de una región tropical en donde los estudios ficológicos son escasos. Fue registrada en San Andrés y Cartagena (Rincón *et al.*, 2018) y debido a su tamaño, es muy difícil que haya pasado desapercibida en muestreos anteriores. Por lo tanto, los autores respaldan la opinión de Bucher *et al.* (2014) de una posible introducción criptica de la especie, que llegó al Archipiélago en tiempos relativamente recientes.

Vega-Sequeda *et al.* (2015) presenta el primer listado de algas (y otros organismos) para Serranilla, Bajo Alicia y Bajo Nuevo, al extremo norte del Archipiélago. Esta área, muy remota, nunca había sido estudiada desde un punto de vista científico.

Para otras regiones del Caribe colombiano, los estudios florísticos no han avanzado mucho. Camacho *et al.* (2015; 2019) describieron dos nuevas especies de algas pardas, *Sargassum giganteum* Camacho y Diaz-Pulido y *Lobophora colombiana* Camacho y Fredericq para el PNN Tayrona, con base en datos moleculares. Estos son dos de los poquísimos estudios moleculares que se han desarrollado sobre la flora marina del país.

Salazar-Forero *et al.* (2021) desarrolló el primer estudio sobre las algas asociadas a las raíces de manglar en el Caribe colombiano (islas del Rosario), reportando una diversidad poco común en este hábitat.

Con estos trabajos, actualmente el Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina cuenta con 325 especies, y la costa Caribe del país con 628. Sin embargo, falta todavía mucho por explorar. Es necesario cubrir otros sectores costeros, como La Guajira, la costa de los departamentos de Atlántico, Sucre y Córdoba, y del Golfo de Urabá hasta la frontera con Panamá; y seguir profundizando el conocimiento en los departamentos que han recibido más atención, porque muchos ecosistemas no han sido explorados con el debido cuidado, y los disturbios debido a factores antrópicos y climáticos pueden modificar la riqueza, abundancia y distribución geográfica de muchas especies de algas.

Costa pacífica

Para el Pacífico hay aún menos estudios. El primer reporte fue a cargo de Lemoine (1929) quien recolectó y describió dos especies de algas coralinas en la isla Gorgona. En la década de los años 1930s se realizaron varias expediciones Allan Hancock en el Pacífico, con énfasis en el Pacífico tropical, que en algunos casos incluyeron muestreos en aguas colombianas. Taylor (1945) publicó los resultados de estos muestreos, y reportó 17 especies para el país. Schnetter y Bula-Meyer (1982) publicaron un libro recopilando toda la información del momento sobre la flora marina del Pacífico colombiano, listando un total de 125 especies. La gran mayoría de estos taxa son reportados para la isla Gorgona (80 spp., 64% del total). En los años siguientes, los principales aportes al conocimiento de la flora pacífica han sido a cargo de Bula-Meyer (1995) y Peña-Salamanca de la Universidad del Valle y colaboradores (p. ej. Peña-Salamanca y Palacio, 1987; Murillo-Muñoz y Peña-Salamanca, 2013; Marín-Salgado y Peña-Salamanca, 2016; Peña-Salamanca, 2017), quienes centraron sus estudios en la isla de Gorgona y en el área de Tumaco y

Buenaventura. Rincón-Díaz *et al.* (2020a; 2020b; 2021) recientemente ha explorado la diversidad de algas asociadas a los riscales y morros (arrecifes rocosos submarinos) del departamento del Chocó, reportando cuatro nuevos registros para el Pacífico oriental tropical, veinte para Colombia y seis adicionales para el Pacífico colombiano. Con toda esta información, actualmente la lista incluye 201 especies para la costa colombiana sobre el océano Pacífico (Rincón-Díaz *et al.*, 2020b).

Varios estudios han demostrado que la costa pacífica tropical del continente americano es mucho menos diversa que la costa Caribe (p. ej. Bula-Meyer, 1998, Fernández-García *et al.*, 2011). Sin embargo, el esfuerzo de muestreo ha sido mucho menor, por lo menos en Colombia, debido a varios factores, entre ellos la falta de infraestructura vial para poder llegar a la costa, y problema de seguridad, debido a la presencia en la región de grupos guerrilleros al margen de la ley, narcotraficantes y delincuencia común que ejercen control sobre el territorio. Inclusive en el área en donde se ha concentrado el mayor esfuerzo de muestreo (isla Gorgona), un reciente estudio sobre la comunidad algal asociada a los territorios de los peces damisela ha revelado un gran número de nuevos registros (Cely-Herrera, 2016), lo que indica que nos falta aún mucho para explorar.

Otros aspectos

A parte de los listados florísticos, otros aspectos de la ficología han sido muy poco explorados. Se han hecho algunos ensayos de cultivo piloto en el Caribe (p. ej. Delgadillo y Newmark, 2008; Camacho y Montaña, 2012) y el Pacífico (Alvarez-Leon y Peña-Salamanca, 2006), algunos estudios ecofisiológicos (p. ej. Peña-Salamanca y Bolívar, 1996; Peña-Salamanca *et al.*, 1999; 2000), de biomasa (p. ej. Peña-Salamanca, 2008; Mosquera-Murillo y Peña-Salamanca, 2016), y de metabolitos secundarios (p. ej. Ospina *et al.*, 2007; Valle *et al.*, 2009). Esos estudios han sido puntuales y les falta continuidad para entender los patrones ambientales que influyen sobre el crecimiento, la producción de metabolitos secundarios y la respuesta fotosintética de las algas colombianas.

CONCLUSIONES

Colombia es un país megadiverso, tanto en ambientes terrestres como en ambientes marinos. Sin embargo, los estudios sobre la diversidad marina todavía no son completos y no han cubierto todos los grupos taxonómicos. Adicionalmente, la gran extensión del territorio marítimo, la escasa infraestructura vial en la región costera, problemas de orden público y los altos costos de las expediciones oceanográficas han limitado enormemente la investigación. Para las macroalgas marinas los estudios se han limitado, en su mayor parte, a inventarios florísticos, restringidos a algunas regiones, incompletos y discontinuos. Otros aspectos ecológicos, fisiológicos, poblacionales y genéticos han sido ignorados casi por completo. Es necesario fomentar la formación de fitólogos en el país para poder llenar este vacío de conocimiento, y poder entender los cambios de diversidad, riqueza, cobertura y distribución geográfica frente a tenses antrópicos y climáticos.

REFERENCIAS

- ALBIS-SALAS, M. Y GAVIO, B. (2011). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, Caribbean Colombian I: New records of macroalgal epiphytes on the seagrass *Thalassia testudinum*. *Botanica Marina*, 54 (6): 537-543
- ALBIS-SALAS, M. Y GAVIO, B. (2015). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, Caribbean Colombia IV: New records of macroalgal epiphytes on the seagrass *Thalassia testudinum*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44 (1): 55-70.
- ALVAREZ-LEON, R. Y PEÑA-SALAMANCA, E. (2006). Experiencias en el cultivo experimental de algas rojas en el Caribe y Pacífico de Colombia. *Rev. Luna Azul*, 23: 16 - 20.
- BARRERA, J. C., GAVIO, B. Y MANCERA, J. E. (2016). Macroalgas asociadas al habitat del gasterópodo *Cittarium pica* (Linnaeus, 1758), en la isla de San Andrés, Colombia. 15-27. En: Campos, N.H. y A. Acero P. (Eds.). *Contribuciones en Ciencias del Mar de la Universidad Nacional de Colombia-2016*. Cecimar, Sede Caribe, Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta.

- BARRIGA-BONILLA, E., HERNÁNDEZ-CAMACHO, J. I., JARAMILLO, I., JARAMILLO-MEJÍA, R., MORA-OSEJO, L. M., PINTO, P. Y RUÍZ-CARRANZA, P.M. (1969). *La Isla de San Andrés. Contribuciones al conocimiento de su ecología, flora, fauna y pesca. Serie de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. pp. 152.*
- BUCHER, K. E., BALLANTINE, D. L., LOZADA-TROCHE, C. Y NORRIS, J. N. (2014). *Wrangelia gordoniae*, a new species of Rhodophyta (Ceramiales, Wrangeliaceae) from the tropical western Atlantic. *Botanica Marina*, 57:265-280.
- BULA-MEYER, G. (1980). *Cladophyllum schnetteri*, a new genus and species of Sargassaceae (Fucales, Phaeophyta) from the Caribbean coast of Colombia *Botanica Marina*, 23: 555-562
- BULA-MEYER, G. (1982A). Adiciones a las clorofíceas marinas del Caribe Colombiano, I *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 12: 117-136
- BULA-MEYER, G. (1982B). Una clave para las especies del género *Halimeda* (Udotaceae, Chlorophyta) del Atlántico occidental *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 12: 41-44
- BULA-MEYER, G. (1983). Una clave para la identificación de especies del género *Caulerpa* (Caulerpáceae, Caulerpales, Chlorophyceae) de las costas del Atlántico occidental *Informe Museo del Mar (Bogotá)*: 1-25
- BULA-MEYER, G. (1985). *Champicolax sarae* gen. et sp. nov., an adelphohemiparasite of the Champiaceae (Rhodymeniales, Rhodophyta) *Phycologia*, 24:429-435
- BULA-MEYER, G. (1987). *Taxonomic and ecologic studies of a subtidal sand plain macroalgal community in the Colombian Caribbean*, PhD Dissertation Delaware University, Newark, Delaware, USA
- BULA-MEYER, G. (1995). Macroalgas de la Isla de Gorgona (Pacífico colombiano) con nuevos registros y una explicación de la baja diversidad y biomasa. *La isla de Gorgona, nuevos estudios biológicos*. Editorial Guadalupe Ltda., Bogota D.C. 11:23-45.
- BULA-MEYER, G. (1997). Las especies de *Champia* (Rhodophyta: Champiaceae) de talo aplanado y una nueva del Caribe Colombiano. *Caldasia*, 19: 83-90.

- BULA-MEYER, G. (1998). Estado actual de la taxonomía de las macroalgas marinas de Colombia. *Boletín Ecotrópica*, 33: 1-14.
- CAMACHO, O., MATTIO, L., DRAISMA, S., FREDERICQ, S. Y DIAZ-PULIDO, G. (2015). Morphological and molecular assessment of *Sargassum* (Fucales, Phaeophyceae) from Caribbean Colombia, including the proposal of *Sargassum giganteum* sp. nov., *Sargassum schnetteri* comb. nov. and *Sargassum* section *Cladophyllum* sect. nov. *Systematics and Biodiversity*, 13(2): 105-130
- CAMACHO, O., FERNANDEZ-GARCIA, C., VIEIRA, C., GURGEL, C. F. D., NORRIS, J. N., FRESHWATER, D. W. Y FREDERICQ, S. (2019). The systematics of *Lobophora* (Dictyotales, Phaeophyceae) in the western Atlantic and eastern Pacific oceans: eight new species. *J. Phycol.*, 55(3): 611-624.
- CAMACHO, O. Y MONTAÑA, J. (2012). Cultivo experimental en el mar del alga roja *Hypnea musciformis* en el area de Santa Marta, Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 41(1): 29-46.
- CCO (COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO). (2014). Construyendo país marítimo. Bogotá.
- CELY-HERRERA, C. A. 2016. Ensamble de algas bentónicas en territorios de *Stegastes acapulcoensis* (Pomacentridae) en isla Gorgona, Pacífico colombiano. Tesis de pregrado. Universidad del Valle.
- CORMACI, M. (2008). Feldmann Index. En: Sven Erik Jørgensen y Brian D. Fath (Editor-in-Chief), *Ecological Indicators*. Vol. 2 of *Encyclopedia of Ecology*, 5 vols. pp. 1544-1547 Oxford: Elsevier.
- DELGADILLO, O. Y NEWMARK, F. (2008). Cultivo piloto de macroalgas rojas (Rhodophyta) en Bahía Portete, La Guajira, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37(2): 7-26
- DÍAZ-PULIDO, G. Y BULA-MEYER, G. (1997). Marine algae from oceanic atolls in the Southwestern Caribbean (Albuquerque Cays, Courtown Cays, Serrana Bank and Roncador Bank). *Atoll Res. Bull.*, 448:1-18.
- DÍAZ-PULIDO, G. Y DÍAZ-RUÍZ, M. (2003). Diversity of benthic marine algae of the Colombian Atlantic. *Biota Colombiana*, 5: 203-246.
- FERNANDEZ-GARCIA, C., RIOSMENA-RODRIGUEZ, R., WYSOR, B., TEJADA, O. L. Y CORTES, J. (2011). Checklist of the Pacific marine macroalgae of Central America. *Bot. Mar.*, 54:53-73.
- GAVIO, B. Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2018). Floating *Sargassum* in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles. *Acta biol. Colomb.*, 23 (3):311-314. DOI:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n3.68113>
- GAVIO, B., REYES-GÓMEZ, V. Y WYNNE, M. J. (2013). *Crouania pumila* sp. nov. (Callithamniaceae, Rhodophyta), a new species of marine red alga from the International Biosphere Reserve Seaflower, Caribbean Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 61 (3): 1015-1023.
- GAVIO, B. Y MANCERA-PINEDA, J. E. (2015). Blooms of ephemeral green algae in San Andrés Island, International Biosphere Reserve Seaflower, Southwestern Caribbean. *Acta Biologica Colombiana*, 20 (2): 259-262.
- GAVIO, B., CIFUENTES-OSSA, M. A. Y WYNNE, M. J. (2015A). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, Caribbean Colombia V: first preliminary study on the phycological flora of Quitasueño bank. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44 (1): 117-126.
- GAVIO, B., RINCÓN-DÍAZ, M. N. Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2015B). Massive quantities of pelagic *Sargassum* on the shores of San Andrés Island, Southwestern Caribbean. *Acta Biologica Colombiana*, 20 (1): 239-241
- GAVIO B, Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2018). Floating *Sargassum* in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles. *Acta biol. Colomb.* 23 (3): 311-314. DOI:<http://dx.doi.org/10.15446/abc.v23n3.68113>
- KAPRAUN, D. F. (1972). Notes on the benthic marine algae of San Andrés, Colombia. *Carib. J. Sci.*, 12: 199 - 203.
- LEMOINE, M. P. (1929). Les corallinacees de l'Archipel des Galapagos et du Golfe de Panama. *Archives du Museum National d'Histoire Naturelle*, 4: 37-88.
- MARIN-SALGADO, H. Y PEÑA-SALAMANCA, E. (2016). Macroalgas bénticas de la Bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Hidrobiológica*, 26 (2): 299-309

- MCMANUS, J. W. Y POLSENBERG, J. F. (2004). Coral-algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Prog. Oceanogr.*, 60: 263-279.
- MOSQUERA-MURILLO, Z. Y PEÑA-SALAMANCA, E. (2016). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento del alga verde *Caulerpa sertularioides* (Bryopsidales, Chlorophyta) en condiciones de laboratorio. *Hidrobiologica* 2016, 26 (2): 277-282
- MURILLO-MUÑOZ, M. Y PEÑA-SALAMANCA, E. (2013). Algas marinas bentónicas de la Isla Gorgona, costa Pacífica Colombiana. *Rev. Biol. Trop.*, 62: 27 - 41.
- OSPINA, S. P., LÓPEZ, J. B. Y MÁRQUEZ, M. E. (2007). Efecto antimitótico in vitro en el extracto metanólico de macroalgas marinas de la costa Caribe colombiana. *Vitae*, 14(2): 84-89.
- ORTIZ, J.F. Y GAVIO, B. (2012). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower. II: diversity of drift algae in San Andrés Island, Caribbean Colombia. *Caribbean Journal of Science* 46 (2-3): 313-321.
- PEÑA-SALAMANCA, E. (2008). Dinámica espacial y temporal de la biomasa algal asociada a las raíces de mangle en la Bahía de Buenaventura, Costa Pacífica de Colombia. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 37: 55 - 70.
- PEÑA-SALAMANCA, E. (2017). El complejo *Bostrychietum*: la flora de algas asociadas a las raíces del manglar en la costa pacífica colombiana, *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 41(160):338-348
- PEÑA-SALAMANCA, E. Y BOLIVAR, G. (1996). Ecophysiology of some red estuarine algae in the Pacific Coast of Colombia. *Bot. Mar.*, 39: 177 - 188.
- PEÑA-SALAMANCA, E. Y PALACIOS, M. L. (1987). Estudio Fitosociológico de una zona intermareal en la Bahía de Malaga, Costa Pacífica colombiana.
- PEÑA-SALAMANCA, E., ZINGMARK, R. Y NIETCH, C. (1999). Comparative photosynthesis of two species of intertidal epiphytic macroalgae on mangrove roots during submersion and emersion. *J. Phycol.*, 35: 1206 - 1214.
- PEÑA-SALAMANCA, E., R. ZINGMARK, R. Y WETHEY, D. (2000). Modelling primary productivity of epiphytic mangrove macroalgae in the Pacific coast of Colombia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol. (JEMBE)*, 228: 23 - 31.
- REYES-GÓMEZ, V. P. Y GAVIO, B. (2017). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, VI. New records of brown algae (Phaeophyceae). *Acta Biológica Colombiana*, 22 (2): 138-141. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n2.60363>
- REYES-GÓMEZ, V. P., GAVIO, B. Y VELASQUEZ, H. (2013). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, III. New records of Cyanophyta for the Caribbean coast of Colombia. *Nova Hedwigia*, 97(3/4): 349-360.
- REYES-GÓMEZ, V. P., VELASQUEZ POMAR, H. Y GAVIO, B. (2021). Notes on the marine algae of the International Biosphere Reserve Seaflower, Caribbean Colombia VIII: new records of red algae (Rhodophyta) from San Andrés, Old Providence, and Saint Cataline, Colombia. *Acta Botanica Mexicana*, 128: e1848. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1848>
- RINCÓN-DÍAZ, M. N., GAVIO, B. Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2014). Occurrence of tetrasporangia in *Ceramium bisporum* (Ceramiales: Rhodophyta). *Acta Biologica Colombiana* 19 (2): 315-318
- RINCÓN-DÍAZ, M. N., GAVIO, B., WYNNE, M. Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2016). First record of the red alga *Griffithsia capitata* (Ceramiales, Rhodophyta) in the southwestern Caribbean Sea, western Atlantic. *Marine Biodiversity Records*, 9: 86. DOI 10.1186/s41200-016-0087-5
- RINCÓN-DÍAZ, M. N., GAVIO, B., WYNNE, M.J. Y SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2018). Notes on marine algae in the International Biosphere Reserve Seaflower Caribbean Colombian VII: Additions to the benthic flora of San Andrés Island. *Caldasia*, 40(1):183-203. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v40n1.64597>
- RINCÓN-DÍAZ, M. N., GAVIO, B., SÁNCHEZ MUÑOZ, J. V. Y CHASQUI, L. (2020A). *Crouania mageshimensis* Itono, 1977 (Ceramiales, Rhodophyta) and three other species new to the Eastern Tropical Pacific. *Check List*, 16 (5): 1171-1180. <https://doi.org/10.15560/16.5.1171>

- RINCÓN-DÍAZ, M. N., SÁNCHEZ-MUÑOZ, J. V., GAVIO, B. Y CHASQUI, L. (2020B). Flora marina de los riscales y morros del pacífico norte chocoano. pp 31-80. En: Chasqui, L. (Ed.). Biodiversidad de los arrecifes rocosos (riscales y morros) del Pacífico Norte Chocoano. Serie Publicaciones Generales No 116 de INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 318 p. DOI: <https://n2t.net/ark:/81239/m9x11f>
- RINCÓN-DÍAZ, M. N., SANCHEZ-MUÑOZ, J. V., GAVIO, B. Y CHASQUI, L. (2021). Diversity of benthic macroalgae in the Colombian Pacific: a study of a rocky reef flora. *Nova Hedwigia*, 112 (1-2): 1-15.
- SALAZAR-FORERO, C. E., GAVIO, B. Y WYNNE, M. J. (2021). Macroalgae associated with aerial roots of *Rhizophora mangle* in Islas del Rosario, Colombia, Southwestern Caribbean. *Caldasia*, 43(1):94-104. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v43n1.85228>
- SCHNETTER, R. (1969). Beitrag zur kenntnis der algenflora an der kolumbianischen küste der Karibischen See Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas "Punta de Betín" 3: 49-57.
- SCHNETTER, R. (1972). Nuevas algas bénticas del litoral Caribe de Colombia *Mutisia*, 36:12-16
- SCHNETTER, R. (1975). Nuevas algas bénticas del litoral Caribe de Colombia II *Caldasia*, 11:57-59
- SCHNETTER, R. (1977). Notas sobre las especies caribes del género *Botryocladia* (Rhodymeniales, Rhodophyceae) con referencia especial a los taxa de la costa Atlántica de Colombia *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 9:73-80
- SCHNETTER, R. (1978). *Botryocladia monoica* (Rhodymeniales, Rhodophyceae), a new species from the Caribbean coast of Colombia *Phycologia*, 17:13-15
- SCHNETTER, R. (1980). Algas marinas nuevas para los litorales colombianos del mar Caribe. *Carib. J. Sci.*, 15:121-125.
- SCHNETTER, R. Y BULA-MEYER, G. (1982). Algas marinas del litoral Pacífico de Colombia, Chlorophyceae, Phaeophyceae, Rhodophyceae. *Bibl. Phycol. Vaduz, Stuttgart*. 287 p.
- TAYLOR, W. R. (1942). Caribbean marine algae of the Allan Hancock Expedition, 1939, Rep. Allan Hancock Atlantic Expedition, 2, Los Angeles
- TAYLOR, W. R. (1945). Pacific marine algae of the Allan Hancock Expeditions to the Galapagos Islands. University of Southern California press, California. 528 p.
- TAYLOR, W. R. (1960). Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas. Ann Arbor University of Michigan Press. Ann Arbor, USA. Pp. 870.
- VALLE, H., OSPINA, S., GALEANO, E., MARTÍNEZ, A., MÁRQUEZ, M. E. Y LÓPEZ, J. B. (2009). Obtención de una fracción antimitótica del extracto etanólico de la macroalga *Digenia simplex*. *Bol. Invest. Mar. Cost*, 38(2): 109-117
- VEGA-SEQUEDA, J., DÍAZ-SÁNCHEZ, C., GÓMEZ-CAMPO, K., LÓPEZ-LONDOÑO, T., DÍAZ-RUÍZ, M. Y GÓMEZ-LÓPEZ, D. I. (2015). Biodiversidad marina en Bajo Nuevo, Bajo Alicia y Banco Serranilla, Reserva de Biosfera Seaflower. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 44: 199-224. DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2015.44.1.27>
- WANG, H., WANG G. Y GU, W. (2020). Macroalgal blooms caused by marine nutrient changes resulting from human activities. *J Appl Ecol.*, 2020; 57:766-776
- WWF-COLOMBIA. (2017). Colombia Viva: Un país megadiverso de cara al futuro. Informe 2017. Cali: WWF-Colombia.



UNA MIRADA A LA IDENTIFICACIÓN DE PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINA

► **Juan Manuel Díaz M.**

*Profesor Asociado, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
Asesor Regional, Programa de Ciencias, Fundación MarViva
juan.diaz@marviva.net*

Introducción

El planeta Tierra tuvo su origen hace aproximadamente 4.500 millones de años y es, hasta donde se conoce, el único de nuestro sistema solar que cuenta con abundante cantidad de agua en estado líquido, lo que ha posibilitado el desarrollo de la vida tal como la conocemos. En el transcurso de los últimos dos mil millones de años, la vida ha experimentado una diversificación extraordinaria, hasta el punto de que no conocemos a ciencia cierta la cantidad de especies que conforman la biota de nuestro planeta. Hasta el presente se han descrito alrededor de 2,5 millones de especies vivientes, pero la cantidad total de estas, según los estimativos más conservadores, está en torno a los 8 millones (Mora *et al.*, 2011).

La biodiversidad se define como la variedad y la variabilidad de los seres vivos y de los complejos ecológicos que ellos integran, y su análisis comprende tres niveles: genético, específico y ecológico (Morrone *et al.*, 1999). Como unidad de medida básica para contabilizar

la biodiversidad y hacer comparaciones entre ecosistemas y regiones, los biogeógrafos emplean usualmente la especie (Halffter, 1994), con lo cual se pone de manifiesto que la biodiversidad no está distribuida homogéneamente en el espacio. Así, mientras en algunas áreas relativamente pequeñas puede encontrarse una cantidad desproporcionada de especies, en otras, aunque de mayor extensión, puede haber solo unas cuantas, y en otras pueden hallarse cantidades moderadas pero la mayoría de ellas son endémicas de esa área. Igualmente, muchas especies son cosmopolitas o tienen distribución circunglobal, mientras que otras se encuentran exclusivamente en determinadas regiones.

Es evidente que existen diferencias muy marcadas de la diversidad biológica entre los ámbitos marino y terrestre. Es ampliamente reconocido que la vida tuvo su origen en el agua salada, y es precisamente en ese medio en donde se produjo la mayor diversificación de los grandes grupos zoológicos, mientras que la extraordinaria diversificación de las plantas no ocurrió sino después de que pudieron colonizar el medio terrestre. En cuanto a la diversidad en el tamaño de los organismos, esta es mucho mayor en el mar que en tierra. La complejidad de las redes tróficas en el mar suele también ser mayor que en los ecosistemas terrestres, en parte debido a que en el medio acuático existe también una mayor variedad de maneras de adquirir alimento; así, por ejemplo, la captura de alimento por filtración es exclusiva de ciertos organismos acuáticos.

El efecto de la latitud

Aunque está ampliamente reconocido que los patrones de distribución geográfica de los organismos pueden depender de la escala espacial y de la jerarquía taxonómica empleada (Willig *et al.*, 2003), en términos generales y para la mayoría de los grupos zoológicos y botánicos terrestres, la riqueza de especies muestra claramente un gradiente latitudinal, por lo que los mapas de distribución de riqueza de especies para los distintos grupos a escala global suelen ser bastante similares,

mostrando casi siempre mayores concentraciones de especies en las zonas ecuatoriales y tropicales de los continentes (Figura 16.1A-B).

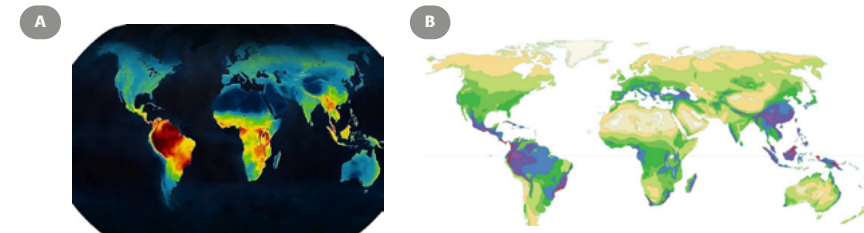


FIGURA 16.1. Dos ejemplos de mapas de distribución global de riqueza de especies terrestres. A. Vertebrados. B. Plantas vasculares.

FUENTE: A. [HTTPS://BIODIVERSITYMAPPING.ORG/](https://biodiversitymapping.org/). B. BARTHLOTT ET AL. (2005).

En el caso del mar, aunque en general también se observa un gradiente de la riqueza de especies con la latitud (Figura 16.2A), esta es menos clara, revela variaciones y diferencias sustanciales entre las regiones y la cantidad de grupos de la biota que se salen de la regla es mayor que en el ámbito terrestre, como es el caso de los mamíferos (Figura 16.2B).

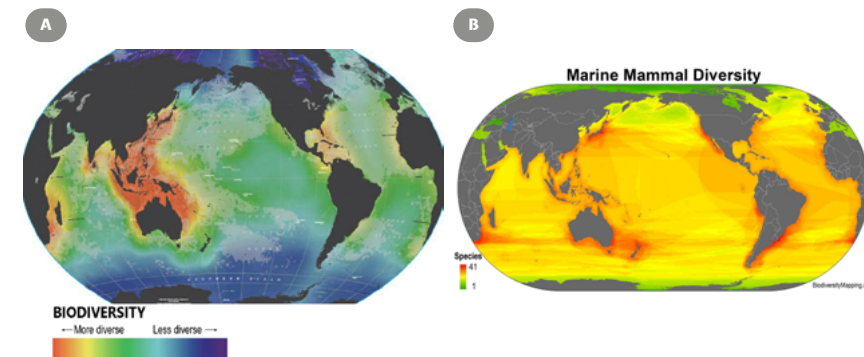


FIGURA 16.2. Mapas de distribución global de riqueza de especies marinas. A. Todos los grupos. B. Mamíferos marinos.

FUENTE: A. COML (2010A). B. [HTTPS://BIODIVERSITYMAPPING.ORG/INDEX.PHP/MARINE-MAMMALS](https://biodiversitymapping.org/index.php/marine-mammals).

Se han postulado más de 30 hipótesis para explicar las posibles causas del gradiente latitudinal, varias de ellas demasiado específicas para explicar un esquema generalizado, otras sustentadas insuficientemente

y otras sustentadas a partir de variaciones latitudinales de factores que son extrínsecos a la hipótesis (Willig *et al.*, 2003). Como suele ser la norma en los sistemas complejos (Rosenzweig 1975), una sola variable, ya sea la temperatura, la estabilidad ambiental, la productividad, las interacciones entre especies, la heterogeneidad espacial, la velocidad evolutiva o cualquier otra, no es capaz de explicar por completo el efecto de la latitud sobre la riqueza de especies. En cambio, una combinación de varios factores sí configura un mecanismo integral que puede aplicarse a la mayoría de las biotas en muchos lugares durante gran parte del tiempo evolutivo (Gaston, 2000). En tal sentido, Willig *et al.* (2003) sintetizaron un modelo conceptual simple (Figura 16.3), que vincula los factores de varias hipótesis y muestra cómo afecta cada uno de ellos la diversidad local (diversidad alfa), regional (diversidad gamma) y la relación entre ambas (diversidad beta).

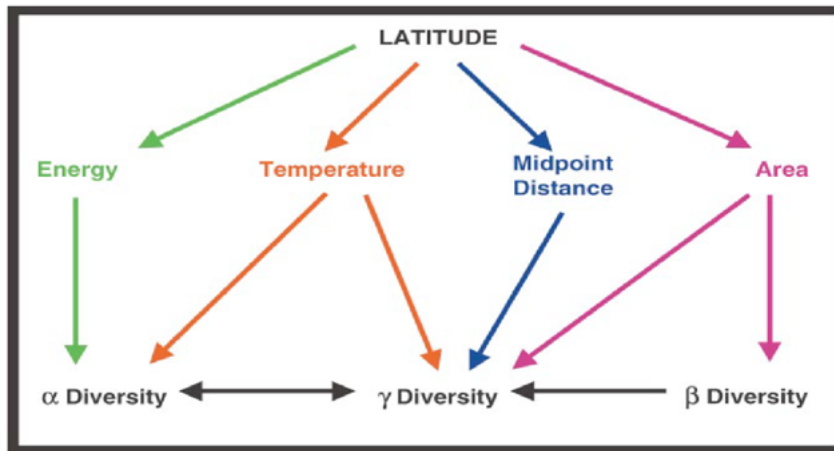


FIGURA 16.3. Modelo conceptual que muestra las vías por las cuales los factores mecanicistas afectan la diversidad alfa, beta o gamma en el contexto de amplios gradientes latitudinales. Se asume que las medidas de diversidad alfa se basan en áreas de igual tamaño o que están determinadas por estimadores asintóticos.

FUENTE: WILLIG ET AL. (2003).

Descubriendo patrones globales

El primer mapa biogeográfico del mundo fue el de Alfred R. Wallace, publicado en 1870, y en él se distinguen seis grandes regiones y 24 subregiones continentales e insulares, caracterizadas según las similitudes y diferencias taxonómicas entre las faunas terrestres que allí se encuentran (Figura 16.4A). Salvo algunas modificaciones limítrofes y cambios en la nomenclatura de las regiones, introducidas desde entonces por algunos botánicos y zoólogos, el mapa de Wallace sigue, a grandes rasgos, estando vigente hasta el día de hoy (Figura 16.4B).

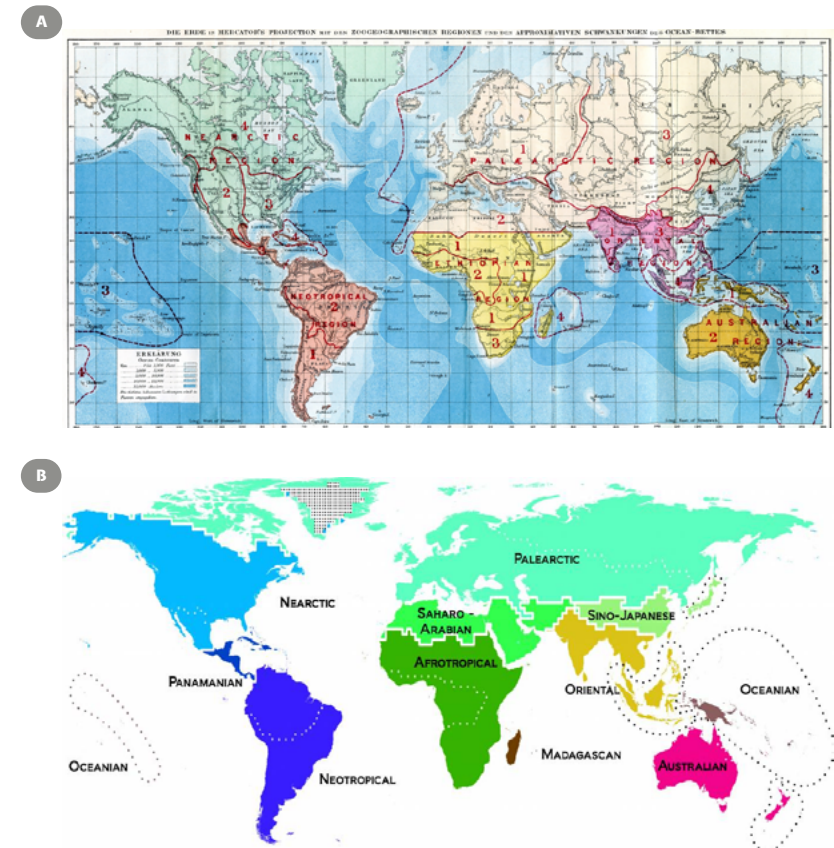


FIGURA 16.4. Mapas de las regiones biogeográficas del mundo. A. Versión original. B. Versión actualizada.

FUENTE: A. WALLACE (1876). B. HOLT ET AL. (2013).

Por otra parte, contar con mapas que representen con cierta precisión unas unidades espaciales biogeográficas a escala global ha sido un proceso mucho más dispendioso y demorado que en el ámbito terrestre. No fue sino hasta el año 2010 que se logró obtener un primer mapa global que muestran las variaciones en la riqueza de especies a lo largo y ancho de los océanos del mundo, gracias a la implementación del Sistema de Información Biogeográfico de los Océanos (OBIS, por sus siglas en inglés) y el Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS, por sus siglas en inglés). Además, si bien se ha reconocido una serie de regiones biogeográficas marinas a partir de las tendencias distribucionales de algunos grupos zoológicos, pastos marinos y mangles, la tarea de completar un esquema biogeográfico de los océanos y mares del mundo, equiparable en precisión a los existentes para los continentes, está todavía lejos de estar culminada.

Sin embargo, con la cada vez mayor cantidad de datos almacenados en OBIS y otros sistemas de información, ya es posible hacer análisis detallados que incluyen métricas para establecer cuotas de endemismo de las biotas regionales, lo que permite identificar “hotspots” de vida marina, al menos para algunos grupos mejor conocidos, y áreas prioritarias para emprender acciones de conservación a escala global (Figura 16.5A-B).

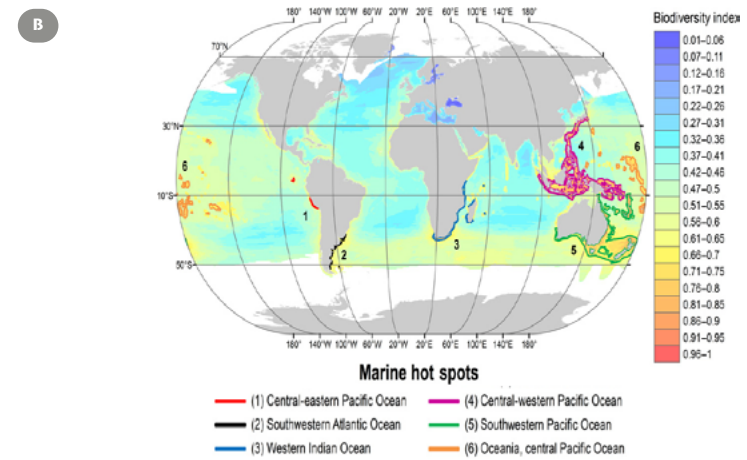
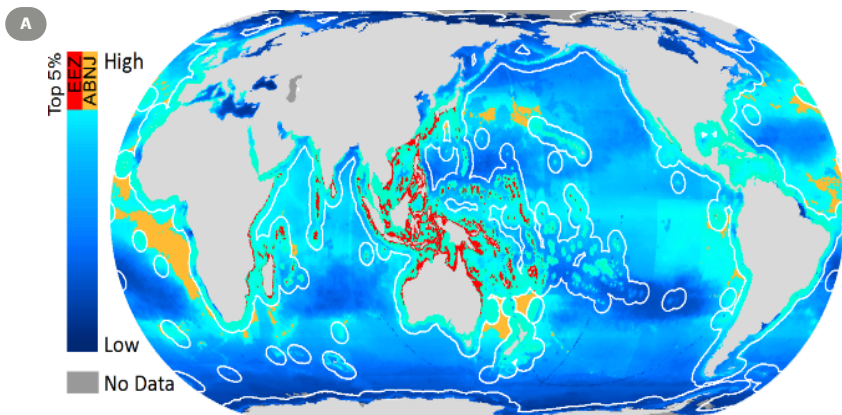
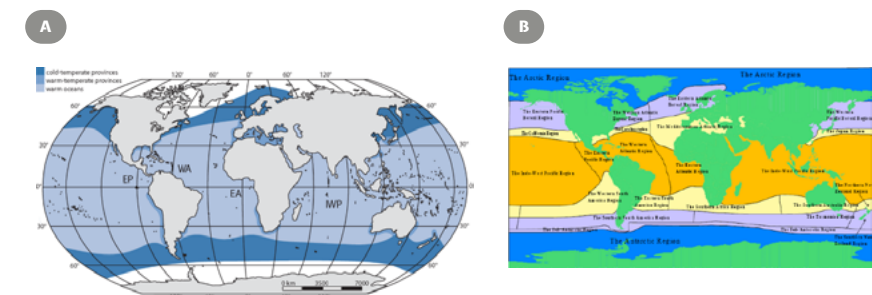


FIGURA 16.5. Mapas globales de distribución de riqueza de especies marinas. A. “Hot spots” de riqueza de aves. B. “Hot spots” de mamíferos marinos.

FUENTE: A. SELIG ET AL. (2014). B. RAMÍREZ ET AL. (2017).

En todo caso, hay que reconocer que el progreso logrado en las dos últimas décadas en cuanto a conocimiento biogeográfico de los océanos supera con creces al obtenido a lo largo del siglo XX. Basta con comparar la evolución del nivel de detalle de los mapas biogeográficos de los océanos y de la información que los sustenta a lo largo de las últimas ocho décadas, desde la Zoogeografía Marina de Ekman (1935) y la de Briggs (1974) a las Ecorregiones marino-costeras de Spalding *et al.* (2007), las Provincias Pelágicas de Spalding *et al.* (2012), las Provincias Costeras de Toonen *et al.* (2016) y los Dominios Biogeográficos Marinos de Costello *et al.* (2017) (Figura 16.6A-F).



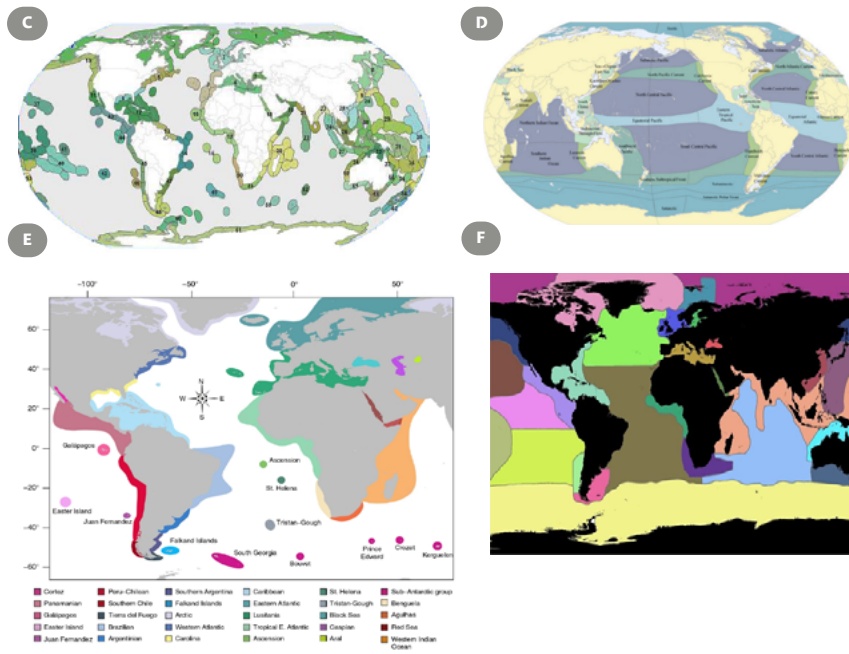


FIGURA 16.6. Evolución de los mapas representando propuestas de regionalización biogeográfica de los océanos.

FUENTE: A. EKMAN (1935). B. BRIGGS (1974). C. SPALDING ET AL. (2007). D. SPALDING ET AL. (2012). E. TOONEN ET AL. (2016). F. COSTELLO ET AL. (2017).

No obstante, todos los mapas con propuestas de regionalización biogeográfica de los mares y océanos no dejan de estar de alguna manera sesgados por los patrones que arrojan los análisis de los grupos taxonómicos mejor conocidos (peces, corales, moluscos, crustáceos, pastos marinos y mangles) y cualquier nuevo mapa seguirá siendo preliminar hasta tanto la tasa de descripción de nuevas especies marinas, especialmente de aguas profundas y de grupos tales como Chromista, Nematoda, Amphipoda, Decapoda y Platyhelminthes (Costello y Chaudhary, 2017) se mantenga en niveles elevados.

La búsqueda de patrones regionales

La identificación de patrones regionales de distribución de las especies marinas es muy importante para poder implementar acciones

internacionales encaminadas a la protección de las funciones ecosistémicas y a la conservación de la biodiversidad, más aún cuando esos patrones abarcan espacios marinos transfronterizos. Gracias al crecimiento de las bases de datos en el transcurso de las últimas dos décadas, se han logrado grandes avances en el conocimiento de los patrones de distribución de la biodiversidad marina a escalas regionales, al menos en términos de riqueza de especies y de cartografía de ecosistemas y comunidades bentónicas. Así, por ejemplo, el programa Censo de la Vida Marina (ver COML, 2010) logró aglutinar grupos de especialistas en diversos grupos de fauna marina, con el fin de llevar a cabo análisis regionales de las tendencias espaciales de la biota marina, resultado de lo cual fue una serie de publicaciones que brindaron una visión integral de la biodiversidad marina de varias regiones del mundo, incluyendo Suramérica (Miloslavich *et al.*, 2011) y el Caribe (Miloslavich *et al.*, 2010). Estos estudios revelan, entre otras cosas, patrones de concentración de riqueza de especies (Figura 16.7), cantidad de especies conocidas y tasas de descripción de nuevas especies de los principales grupos zoológicos.

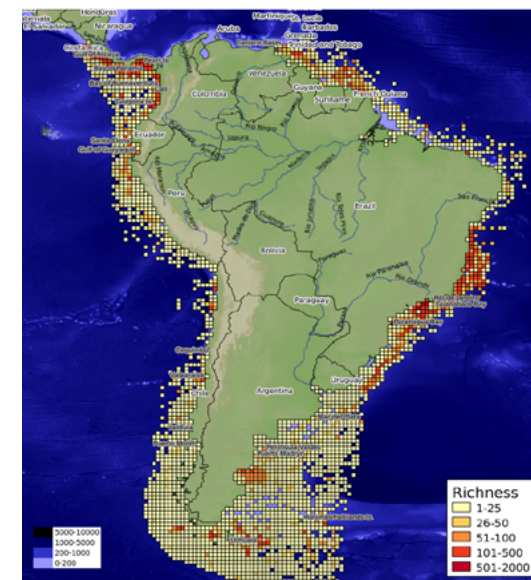


FIGURA 16.7. Distribución de la riqueza de especies marinas registradas en la plataforma continental de Suramérica.

FUENTE: MILOSLAVICH ET AL. (2011).

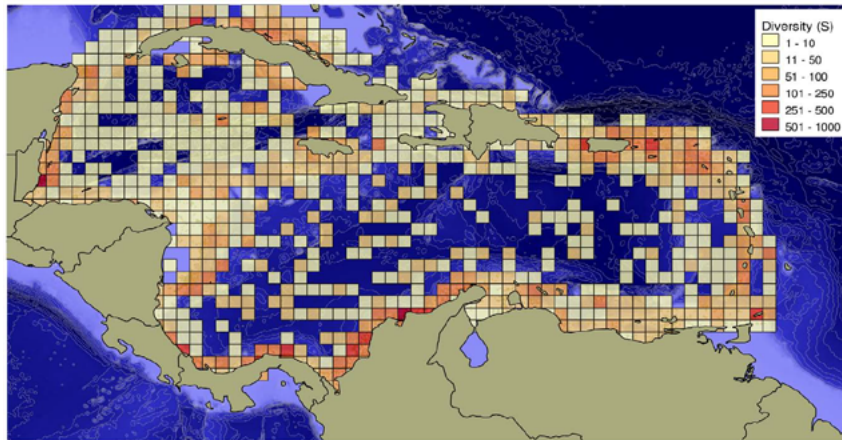


FIGURA 16.8. Distribución espacial del número de especies marinas registradas en cuadrantes de 50 x 50 km en el mar Caribe, incluidas en la base de datos OBIS.

FUENTE: MILOSLAVICH ET AL. (2010).

El provincialismo del mar Caribe

El Caribe, pese a ser una subcuenca de tamaño relativamente reducido, representa un variado mosaico de ecosistemas marinos tropicales que albergan, en conjunto, la mayor concentración de especies marinas en el Océano Atlántico y es un punto caliente de biodiversidad marina a escala mundial (Roberts *et al.*, 2002; Miloslavich *et al.*, 2010). Por lo tanto, el Caribe es considerado una subregión biogeográfica distinta en el contexto del Atlántico Occidental Tropical y, más aun, varios autores han identificado patrones intracaribeños de distribución de especies para ciertos grupos zoológicos (p. ej. Briggs, 1974; Díaz, 1995; Boschi, 2000; Salazar-Vallejo, 2000; Petuch, 2013; Robertson y Cramer, 2014) y han propuesto esquemas de regionalización del Caribe a partir de criterios oceanográficos y ecológicos (p. ej. Sullivan y Bustamante, 1999; Spalding *et al.*, 2007) (Figura 16.9A-F).

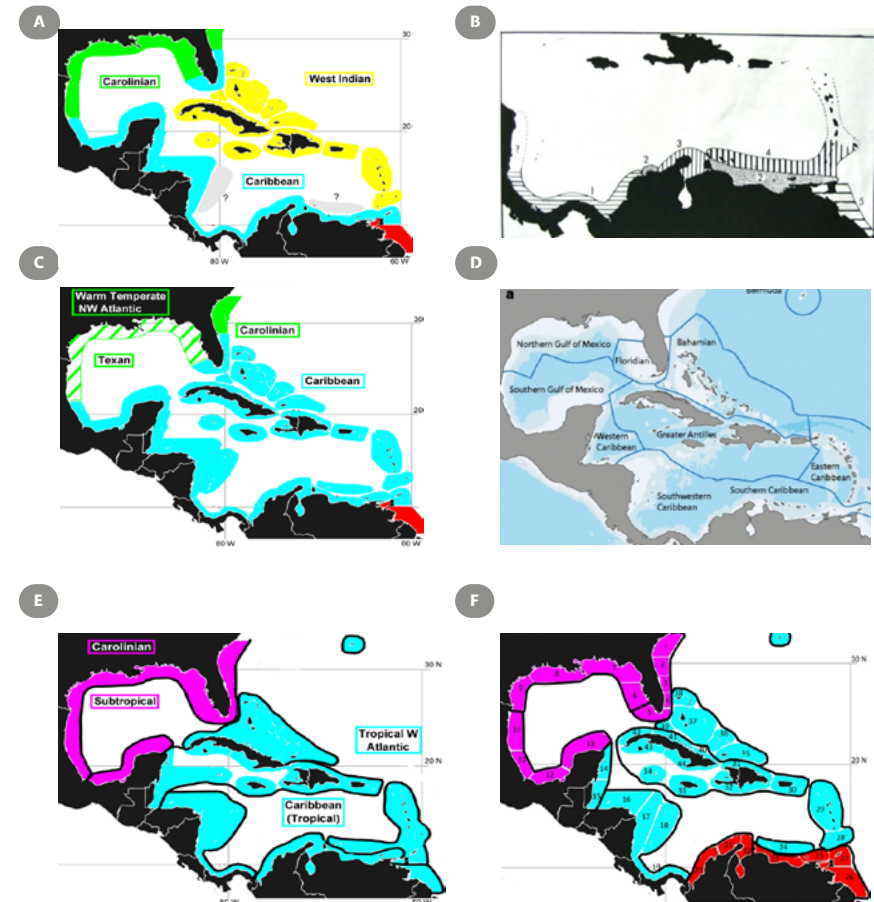


FIGURA 16.9. Algunas propuestas de regionalización biogeográfica del Caribe basadas en criterios faunísticos o ecológicos. A. Peces. B. Gasterópodos. C. Decápodos. D. Fauna y ecosistemas en general. E. Macrogasterópodos. F. Peces.

FUENTE: A. BRIGGS (1974). B. DÍAZ (1995). C. BOSCHI (2000). D. SPALDING ET AL. (2007). E. PETUCH (2013). F. ROBERTSON Y CRAMER (2014).

La principal razón por la cual la identificación de patrones generalizados de distribución geográfica de la biota marina, y por ende también el establecimiento de esquemas de regionalización biogeográfica, se encuentran rezagada con respecto al ámbito terrestre tiene que ver, con la naturaleza tridimensional de los océanos y la mayor dificultad del medio marino para realizar muestreos completos en áreas grandes. La riqueza de especies disminuye con la profundidad y las especies de aguas profundas suelen tener rangos geográficos más

amplios que las de aguas someras (Costello y Chaudhary, 2017), lo que enmascara los patrones generales y obliga a efectuar análisis separados. A ello se suma el alto grado de desconocimiento taxonómico de especies pequeñas y el hecho innegable de que no pocos grupos supraespecíficos, especialmente de moluscos, comúnmente utilizados para medir porcentajes de endemismo como método para determinar límites de provincias y subprovincias biogeográficas, han sido sobrenombrados taxonómicamente, se encuentran en un estado de flujo taxonómico y su sistemática no está adecuadamente establecida (Petit, 2013).

CONCLUSIONES

Puede decirse que, al igual que en tierra, la biodiversidad también se distribuye de manera muy heterogénea en los océanos, aunque revela unos patrones biogeográficos menos claros y definidos, los cuales responden en mayor o menor medida tanto a factores oceanográfico-ecológicos como paleogeográficos y paleoceanográficos. El efecto de la latitud, aunque también es notorio en el gradiente de riqueza de especies marinas, es considerablemente menos marcado que en los continentes.

La identificación de patrones biogeográficos en el mar ha sido un proceso mucho más lento y dispendioso que en el ámbito terrestre continental, debido en gran parte a las dificultades que entraña la tridimensionalidad del espacio acuático, al enmascaramiento de los patrones generales al realizar análisis que involucran especies de diversos intervalos batimétricos y a la desigualdad en la cantidad y calidad de los inventarios de biota entre regiones y países. No debe, además, ignorarse el “ruido” que introducen en los análisis corográficos las especies altamente pelágicas y, más recientemente, las especies invasoras.

Los avances en identificación de patrones de distribución a escalas regional y local en las últimas dos décadas han permitido el establecimiento de esquemas de regionalización y de prioridades y estrategias para la conservación de la biodiversidad marina, especialmente cuando dichos esquemas abarcan espacios transfronterizos de dos o más países.

REFERENCIAS

- BARTHLOTT, W., MUTKE, J., RAFIQPOOR, M. D., KIER, G. Y KREFT, H. (2005). *Global centers of vascular plant diversity*. *Nova Acta Leopoldina*, 92: 61-83.
- BOSCHI, E. (2000). *Species of decapod crustaceans and their distribution in the American marine zoogeographic provinces*. *Rev. Invest. Des. Pesq.*, 13: 7-136.

- BRIGGS, J. C. (1974). *Marine Zoogeography*. McGraw-Hill, New York, 475 pp.

- COML. (2010A). *Ocean Life: Past, Present, and Future*. *Census of Marine Life Program*. <http://comlmaps.org/oceanlifemap/past-present-future>.

- COML. (2010B). *First Census of Marine Life 2010: Highlights of a decade of discovery* (editado por J. H. Ausubel, D. T. Crist y P. E. Waggoner). *Census of Marine Life*, Washington, D.C., 61 pp.

- COSTELLO, M. Y CHAUDHARY, C. (2017). *Marine biodiversity, biogeography, deep-sea gradients, and conservation*. *Current Biology*, 27(11): 11-27 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.060>

- COSTELLO, M., TSAI, P., WONG, P., CHEUNG, A., BASHER, Z. Y CHHAYA, C. (2017). *Marine biogeographic realms and species endemism*. *Nature Communications*, 8, doi: 10.1038/s41467-017-01121-2.

- DÍAZ, J. (1995). *Zoogeography of marine gastropods in the southern Caribbean: A new look at provinciality*. *Caribb. J. Sci.*, 31: 104-121.

- EKMAN, S. (1935). *Tiergeographie des Meeres*. Akademische Verlags-gesellschaft, Leipzig: xii + 512 pp

- GASTON, K. J. (2000). *Global patterns in biodiversity*. *Nature*, 405: 220-27.

- HALFFTER, G. (1994). *¿Qué es la biodiversidad?* *Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 62: 5-14.

- HOLT, B., LESSARD, J. P., BORREGAARD, M., FRITZ, S., ARAÚJO, M., DIMITROV, D., ... RHBEK, C. (2013). *An update of Wallace's Zoogeographic Regions of the World*. *Science*, 339: 74-78.

- MILOSLAVICH, P., DÍAZ, J. M., KLEIN, E., ALVARADO, J. J., DÍAZ, C., GOBIN, J., ... ORTIZ, M. (2010). *Marine biodiversity in the Caribbean: Regional estimates and distribution patterns*. *PLoS ONE* 5(8), doi:10.1371/journal.pone.0011916

- MILOSLAVICH, P., KLEIN, E., DÍAZ, J. M., HERNÁNDEZ, C. E., BIGATTI, G., CAMPOS, L., ... MARTÍN, A. (2011). *Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: Knowledge and gaps*. *PLoS ONE* 6(1), doi: 10.1371/journal.pone.0014631

- MORA, C., TITTENSOR, D. P., ADL, S., SIMPSON, A. G. B. Y WORM, B. (2011). How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9(8), doi: 10.1371/journal.pbio.1001127
- MORRONE, J., ESPINOSA, D., FORTINO, A. D. Y POSADAS, P. (1999). *El arca de la biodiversidad*. Universidad Autónoma de México, México, 87 pp.
- PETIT, R. (2013). A review of Biogeography and biodiversity of western Atlantic mollusks by Edward J. Petuch. *Conchologia Ingrata*, 13, doi: 2325-1840.
- PETUCH, E. J. (2013). *Biogeography and biodiversity of Western Atlantic molluscs*. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Rato, Florida, 234 pp.
- RAMÍREZ, F., AFÁN, I., DAVIS, L. S. Y CHIARADIA, A. (2017). Climate impacts on global hot spots of marine biodiversity. *Sci. Adv.*, 3(2), doi: 10.1126/sciadv.1601198
- ROBERTS, C., MCCLEAN, C., VERON, J., HAWKINS, J., ALLEN, G., MCALLISTER, D. E., ... WERNER, T. (2002). Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, 295: 1280-1284.
- ROBERTSON, D. R. Y CRAMER, K. L. (2014). Defining and Dividing the Greater Caribbean: Insights from the biogeography of shorefishes. *PLoS One*, 9(7): doi: 10.1371/journal.pone.0102918
- ROSENZWEIG, M. L. (1995). *Species diversity in space and time*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, 465 pp.
- SALAZAR-VALLEJO, S. (2000). Biogeografía marina del Gran Caribe. *Interciencia*, 25: 7-12.
- SELIG, E. R., TURNER, W.R., TROËNG, S., WALLACE, B.P., HALPERN, B. S., KASCHNER, K. ... MITTERMEIER, R. A. (2014). Global priorities for marine biodiversity conservation. *PLoS ONE* 9(1), doi: 10.1371/journal.pone.0082898
- SPALDING, M., FOX, H., ALLEN, G., DAVIDSON, N., FERDAÑA, Z., FINLAYSON, M., ... ROBERTSON, J. (2007). Marine ecoregions of the world: A bioregionalization of coastal and shelf areas. *BioScience*, 57: 573-583.
- SPALDING, M., AGOSTINI, V., RICE, J. Y GRANT, S. (2012). Pelagic provinces of the world: A biogeographic classification of the world's surface pelagic waters. *Ocean & Coastal Management*, 60: doi: 19-30. 10.1016/j.ocecoaman.2011.12.016.
- SULLIVAN SEALEY, K. Y BUSTAMANTE, G. (1999). *Setting geographic priorities for marine conservation in Latin America and the Caribbean*. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia, US, 125 pp.
- TOONEN, R., BOWEN, B., LACCHEI, M. Y BRIGGS, J. C. (2016). Biogeography, Marine. *Encyclopedia of Evolutionary Biology*, doi: 10.1016/B978-0-12-800049-6.00120-7.
- WALLACE, A. R. (1876). *The geographical distribution of animals; with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the Earth's surface*. Harper & Brothers, New York, 2 vols.
- WILLIG, M., KAUFMAN, D. Y STEVENS, R. (2003). Latitudinal gradients of biodiversity: Pattern, process, scale, and synthesis. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 20. 273-309.



BIODIVERSIDAD DE CRUSTÁCEOS MARINOS

► **Néstor Hernando Campos Campos**

Director del Instituto de Estudios en Ciencias del Mar - CECIMAR,
Profesor Titular, Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe
nhcamposc@unal.edu.co

Introducción

El mundo de los crustáceos es sorprendente. Según el First Census of Marine Life (Ausubel *et al.*, 2010) un estudio que realizaron alrededor de 2.700 científicos a nivel mundial durante 10 años, los resultados concluyentes fueron los siguientes: Los crustáceos son el grupo más rico en biodiversidad con el 19% de la biodiversidad marina (incluyendo fauna, flora, protistas, bacterias, arqueas y hongos). Igualmente, presentaron el mayor número de especies nuevas que se han registrado a nivel mundial entre el 2002 y el 2006 para un número total de 1.650 y de esas 452 especies fueron de crustáceos.

Los crustáceos presentan una gran diversidad de tamaños, la diferencia entre el tamaño más pequeño y más grande puede ser de mil veces. En el caso más extremo tenemos el cangrejo araña japonés *Macrocheira kaempferi*, que mide 4 m entre los extremos de los apéndices, un cangrejo de la familia de los denominados “cangrejos arañas”; lo sigue el cangrejo de Tazmania (*Pseudocarcinus gigas*), el caparazón mide 46 cm; probablemente el cangrejo más pequeño es el cangrejo pinoterido (*Nannotheres moorei*) que vive simbiote en bivalvos y tiene un tamaño aproximado de

5 mm (Manning y Felder, 1996). No solo en la parte marina se alcanzan tamaños tan desproporcionados, tal es el caso de la langosta de agua dulce de la familia *Astacidea*, cuya talla alcanza más de 1 m. El cangrejo terrestre (del grupo de los ermitaños) conocido cangrejo cocotero *Birgus latro*, que llega a un tamaño aproximado de 40 cm y con las patas extendidas alcanza hasta 1 m y 4 kg de peso (Campoverde, 2016). El tamaño más pequeño corresponde al grupo de *Tantulocarida*, que son parásitos de otros crustáceos, con tamaños menores a 200 μm (Boxshall y Licoln, 1983). Otro ejemplo es el krill, el alimento de las ballenas que constituye posiblemente la biomasa de organismos pluricelulares más grande que existe, alcanzando 500 millones de toneladas y la larva nauplios, la larva característica de los crustáceos que posiblemente es el multicelular más abundante junto con el krill.

En grupos diferentes a los crustáceos decápodos es frecuente el gigantismo. Uno de éstos es un anfípodo gigante de cerca de 30 cm de longitud, que fue descrita de la Fosa de las Marianas en el 2019 alcanzando profundidades casi de 11.000 m de profundidad donde vive. En ellos se ha detectado que el mecanismo para poder subsistir a esas profundidades, en donde se ven sometidos a temperaturas muy altas, altas presiones, cambios del pH y condiciones en las que muy probablemente se disolvería su caparazón, estos organismos asimilan aluminio del sedimento, y generan un gel de este material para cubrirse y lograr protegerse de los efectos ambientales (Kobayashi *et al.*, 2019). En los isópodos está el género *Bathynomus* conformado por especies con longitudes cercanas a 50 cm (Wetzer, 1986; Lowry y Dempsy, 2006).

Los crustáceos son uno de los grupos más abundantes, se sitúan en tercera posición después de los insectos (1.020.007 especies) y los arácnidos (112.201 especies). Actualmente se han descrito a nivel mundial 1.002 familias con 9.522 géneros y 66.914 especies (Ahyong *et al.*, En Zhang, 2011). Los decápodos es el orden mejor representado a

nivel mundial con 14.861 especies. Lo siguen los isópodos con 10.661 especies y los anfípodos con 10.194 especies.

En el ambiente marino habitan prácticamente desde la zona intermareal hasta las fosas profundas, inclusive hay especies que se han adaptado completamente a vivir en el hielo. En el Caribe colombiano se han registrado más de 600 especies y se estima que el número puede llegar a 1.000. Los otros grupos constituyen aportes significativos en especial los anfípodos y los isópodos.

La importancia de los crustáceos radica en que son el sustento de las cadenas tróficas; los copépodos son el mayor componente del plancton, viven principalmente suspendidos en la columna de agua siendo los principales contribuyentes en la transferencia de energía a través de los sistemas tróficos.

Los crustáceos en el Caribe colombiano

A nivel mundial se reconocen 50 órdenes de crustáceos (Tabla 17.1), en Colombia se tiene registros de unos pocos grupos. Los *Copepoda* han sido tenidos en cuenta en varios estudios, por ejemplo, Gaviria *et al.* (2019) revisaron y listaron 214 especies, 158 de *Calanoida*, 38 *Cyclopoida*, 15 *Harpacticoida*, 2 *Mormonilloida* y 1 de *Monstrilloida*. La subclase *Ostracoda* sólo ha sido tomada en cuenta por Llano (1982), en el que registró 35 especies de la bahía de Cartagena. Para la subclase *Cirripedia* que abarca los percebes, de mar (*Pedunculata* y *Sessilia*) y formas simbiotas y parásitas (*Kentrogonida* y *Akentrogonida*, conocidos como *Rhizocephala*), se han registrado 19 especies: 5 *Pedunculata*, 13 *Sessilia* y 1 *Kentrogonida* (Southward, 1975 y Young y Campos, 1988). Recientemente se registró la presencia del orden *Tantulocarida* (2 especies no identificadas), en el Caribe colombiano, parasitando ejemplares de *Tanaidacea* y *Cumacea* (Cortés *et al.*, 2021).

La clase *Malacostraca* abarca todos aquellos crustáceos que presentan unidad en el número de segmentos, cabeza con 5 segmentos y el acron, el torax con 8 y el abdomen con 6 más el telson. De las subclases se tienen registro de *Stomatopoda*, *Peracarida* (*Amphipoda*, *Isopoda*, *Cumacea* y *Tanaidacea*) y el mayor registro de especies corresponde al orden *Decapoda*.

Para el orden *Stomatopoda* se han registrado 24 especies. Werding y Müller (1990) registraron 22 especies, de las cuales nueve fueron nuevos registros, posteriormente Navas y Campos (2001) registraron dos especies nuevas.

El orden *Amphipoda* está presente en el Caribe colombiano con 59 especies, 49 del suborden *Gammaridea* y 10 de *Caprellidae*, tres de ellas especies nuevas para la ciencia (Ortiz, 1983; Ortiz y Lemaitre, 1994; Guerra *et al.*, 2006).

El orden *Mysidacea*, corresponde al único grupo de crustáceos que presenta el órgano del equilibrio en la rama interna de los urópodos. Los registros que se tienen para este grupo fueron publicados en varios artículos por Brattegard (1970; 1973; 1974A; 1974B) para un total de 33 especies.

TABLA 17.1. NÚMERO DE ORDENES (50), SUBORDENES, SUPERFAMILIAS Y FAMILIAS DE CRUSTÁCEOS.

NO.	ORDEN	SUBORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA
1	Brachypoda		1	8
2	Notostraca	1	1	1
3	Diplostraca	4		22
4	Anostraca	2		7
5	Clase Remipedia	1		3

NO.	ORDEN	SUBORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA
6	Cephalocarida	1		1
7	Mystacocarida			1
8	Laurida			3
9	Dendrogastrida			3
10	Pedunculate			14
11	Sessilia			15
12	Pygophora			2
13	Apygophora			2
14	Kentrogonida			3
15	Akentrogonida			7
16	Tantulocarida			5
17	Cephalobenida			2
18	Porocephalida			4
19	Platicopioida			1
20	Calanoida	9		46
21	Harpacticoida	3	10	59
22	Cyclopoida			98
23	Gelyelloida			1
24	Poecilostomatoida			61
25	Siphonostomatoida			42

NO.	ORDEN	SUBORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA
26	Monstrilloida			1
27	Misophrioida			3
28	Mormonilloida			1
29	Arguloida			1
30	Myodocopida			5
31	Halocyprida	2	3	2
32	Platycopida			1
33	Podocopida	2	6	45
34	Paleocopida	1	1	1
35	Leptostraca			3
36	Stomatopoda	1	4	17
37	Bathynellacea			2
38	Anaspidacea			5
39	Thermosbanacea			4
40	Speleogriphacea	1		1
41	Lophogastrida			3
42	Mysida			4
43	Mictacea			2
44	Amphipoda	3		189
45	Isopoda	9		129
46	Tanaidacea	3	4	30
47	Cumacea			9
48	Euphausiacea			2
49	Amphionidacea			1
50	Decapoda	2	44	197

FUENTE: MODIFICADO DE ZHANG (2011).

Campos (2003) listó los *Isopoda* registrados para el Caribe colombiano en 25 artículos que incluían registro de especies colombianas, para un total de 75 especies.

El último orden del superorden *Peracarida* que ha sido registrado para el Caribe colombiano es el *Tanaidacea*, Morales *et al.* (2017) registraron dos especies, una de esas es una nueva especie para la ciencia.

Los *Decapoda* son el orden de *Malacostraca* más abundante y más estudiado en el Caribe colombiano. Actualmente hay cerca de 670 especies registradas, desde camarones hasta cangrejos “verdaderos”.

Formas de vida

En los *Copepoda* se presenta una gran diversidad de formas de vida, desde libre hasta parásitos, pasando por los diferentes tipos de alimentación (herbívoros, omnívoros y carnívoros). Los *Calanoida* son predominantemente marinos y componentes principales del plancton. Los *Cyclopoida* son abundantes en agua dulce con algunas familias marinas, son predominantemente planctónicos y con familias parásitas de peces. Los *Harpacticoida* son principalmente bentónicos, con especies de vida planctónica. Los *Poecilostomatoida*, son predominantemente planctónicos con especies hematófagas. Otros órdenes tienen pocas especies y se tiene registro de algunas de ellas y de vida parasitaria, como la *Monstrilloida* que las formas larvales (*nauplio* y *copepoditos*) parasitan gusanos poliquetos (*Annelida*) y los adultos son de vida libre corta, y los *Siphonostomatoida* que son parásitos en peces (Dorado y Dorado, 2018).

Los *Cirripedia* son predominantemente de vida sésil, con un orden de hábitos endo-parasitario en decápodos. Los cirripedios se reconocieron como crustáceos por la larva nauplio, larva característica y exclusiva de crustáceos. Este grupo de organismos se caracteriza por no mudar el caparazón, generalmente los crustáceos para poder crecer tienen que mudar caparazón, lo que

se conoce como la muda; en el caso de los *Cirripedia* mudan la parte interna (tejidos blandos principalmente) donde están los apéndices y los órganos internos, a tal punto que su caparazón tiene líneas de crecimiento.

Los organismos del género *Balanus* (Figura 17.1A) viven sobre cualquier superficie sólida; Los *Megabalans* (Figura 17.1B) viven sobre el coral de fuego *Millepora* sp. el coral crece alrededor de ellos creando esas pústulas; El caso del género *Acastha* (Figura 17.1C), sus especies viven embebidas en esponjas. En el caso del grupo de cirripedios pedunculados, aquí tenemos una especie de *Octolasmis* (Figura 17.1D) que viven en formas epibiontes sobre el caparazón de otros crustáceos, o como en este caso, que vive sobre las branquias de un cangrejo nadador (*Callinectes sapidus*).

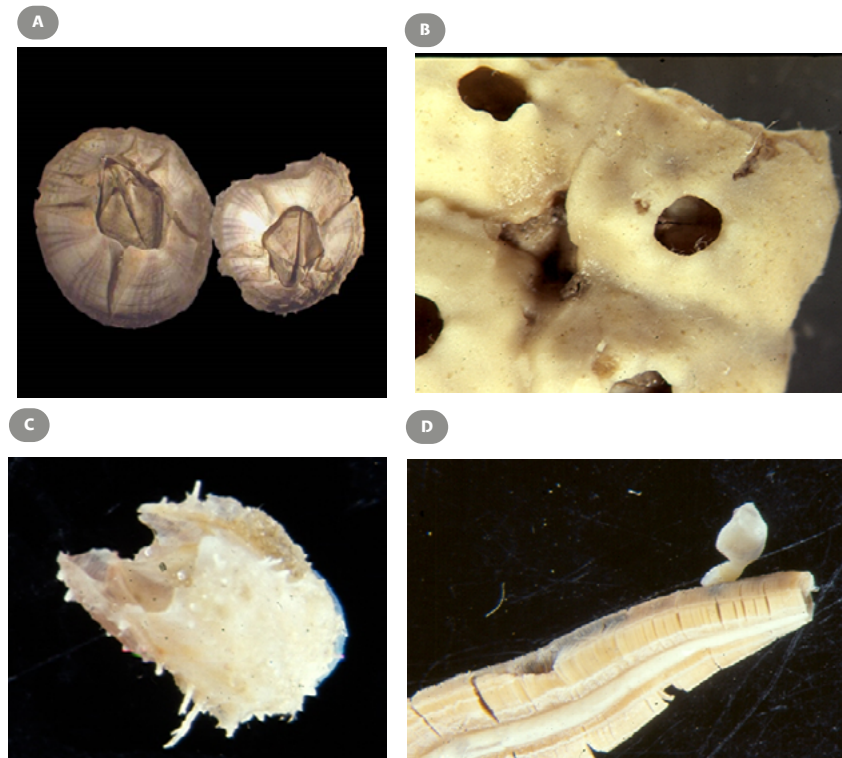


FIGURA 17.1. Diferentes especies de Cirripedia. A. *Balanus amphitrite*. B. *Megabalanus stultus* epibionte en coral de fuego *Millepora* sp. C. *Acastha cyathus*. D. *Octolasmis muelleri*.

FUENTE: ARCHIVO PROPIO.

El orden *Rhizocephala* es de vida endoparásita en crustáceos *Decapoda*. El parásito se ramifica dentro del huésped como una red y externamente se reconocen por la estructura reproductiva en forma de bolsa (Figura 17.2). Las larvas (nauplio y cypris) son de vida libre y se fija al huésped en el estado cypris, por la base de un pelo introduciéndose dentro del huésped, la hembra se desarrolla a la forma ramificada dentro del organismo parasitado y el macho se fija a la hembra en estado cypris.



FIGURA 17.2. Vista ventral de una jaiba, *Callinectes sapidus* recolectada en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Con el abdomen extendido mostrando la parte externa del parásito *Loxothylacus texanus*.

FUENTE: ARCHIVO PROPIO.

En los Malacostraca igualmente se presentan casos de parasitismo. En el orden *Amphipoda*, y en el *Isopoda*. Avila *et al.* (2011) registraron la presencia del anfípodo ectoparásito *Procepon liuruiyui* sobre la ballena jorobada *Megaptera novaeangliae* (Figura 17.3A).

En el orden *Isopoda*, la familia *Bopyridae* es parásita en la cámara branquial de crustáceos decápodos (Figura 17.3B). Este grupo se caracteriza por la presencia de la hembra y el macho en el mismo huésped, la hembra se desarrolla más para la vida parasítica mientras que el macho cumple más la función reproductiva. En este caso se refiere a parásitos en decápodos talassinideos (An *et al.*, 2009).

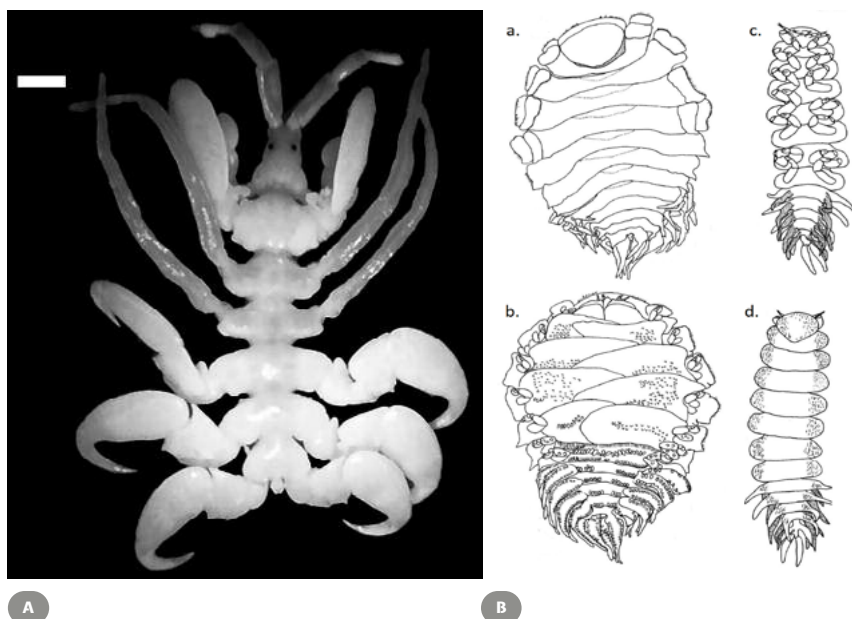


FIGURA 17.3. A. Vista dorsal de *Cyamus boopis*. Escala = 1 mm. B. *Procepon liuruiyui*: Vista dorsal y ventral de una hembra (a y b = 0,14 mm) y vista ventral y dorsal de un ejemplar macho (c y d = 0,10 mm).

FUENTE: A. AVILA ET AL. (2011). B. AN ET AL. (2009).

La fauna de crustáceos decápodos del Caribe colombiano

Los Decapoda son posiblemente el grupo más importante dentro de los crustáceos. Se dividen en dos grandes grupos, dependiendo del tipo de branquias. Los Dendrobranchiata corresponden a los más primitivos del grupo, primero por la presencia de dendrobranquias (que le da el nombre) y un ciclo larval complejo, empezando por la larva nauplio, seguido por la larva zoea y la mysis. En ellos se incluyen los camarones comerciales (*Penaeus* sp.) y el único grupo de decápodos holoplanctónicos (todo el ciclo de vida lo desarrollan en el plancton), la superfamilia *Sergestioidea*. El segundo gran grupo se denomina *Pleocyemata*, presentan tico y filobranquias, además en el desarrollo larval la fase nauplio es dentro del huevo y se libera una larva zoea que luego entrara en una etapa postlarval. En esta categoría se incluyen los grupos restantes de camarones (*Stenopodidea* y *Caridea*), las langostas (*Astacidea*), los *Thalassinidea*, los *Anomura*

(presentan reducción en el abdomen y se empieza a doblar bajo el tórax) y los cangrejos verdaderos (*Brachyura*).

Los *Pleocyemata* fueron divididos en ocho infraórdenes (*Stenopodidea* Claus, 1872, *Caridea* Dana, 1852, *Polychelidae* Wood-Mason, 1874, *Astacidea* Latreille, 1802, *Thalassinidea* Latreille, 1831, *Palinura* Latreille, 1802, *Anomura* MacLeay, 1838, *Brachyura* Latreille, 1802), a nivel mundial se han registrado 197 familias (Ahyong et al., En Zhang, 2011). Para el Caribe colombiano se han registrado representantes de 85 familias (42,7%), la mayoría de ellas con dos a seis especies y 18 de éstas, con una especie solamente. Se han publicado 17 especies nuevas para la ciencia.

En la Tabla 17.2 se lista el número de familias para el mundo (1), el número de familias registradas para el Caribe colombiano (2), el porcentaje de familias por infraorden para el mundo (3) y Colombia (4) y el porcentaje de abundancia (5).

TABLA 17.2. TABLA COMPARATIVA DEL NÚMERO DE FAMILIAS PARA LOS PRINCIPALES GRUPOS DE CRUSTÁCEOS DECÁPODOS A NIVEL MUNDIAL. SE COMPARA EL NÚMERO DE FAMILIAS REGISTRADAS PARA EL CARIBE COLOMBIANO; SE DAN LOS PORCENTAJES DE FAMILIAS A NIVEL MUNDIAL Y PARA EL CARIBE COLOMBIANO. % ABUNDANCIA: RELACIÓN FAMILIAS POR INFRAORDEN, PRESENTES EN COLOMBIA FRENTE AL NÚMERO A NIVEL MUNDIAL. (A) EL PORCENTAJE TOTAL CORRESPONDE A FAMILIAS PRESENTES EN RELACIÓN CON EL TOTAL MUNDIAL.

GRUPO	# FAM ¹ .	# FAM ² . COLOMBIA	% MUNDO ³ .	%4 COLOMBIA ⁴ .	% ABUNDANCIA ⁵ .
Dendrobranchiata	7	5	3.5	5.6	71.4
Stenopodidea	3	2	1.5	2.4	66.6
Caridea	35	15	17.6	17.9	42.9
Polychelida	1	1	0.5	1.2	100
Achelata	2	2	1	2.4	100
Astacidea	5	2	2.5	2.4	40
Axiidea	23	3	11.6	3.6	13.0

GRUPO	# FAM ¹ .	# FAM ² . COLOMBIA	% MUNDO ³ .	%4 COLOMBIA ⁴ .	% ABUNDANCIA ⁵ .
Anomura	19	13	9.5	15.5	68.4
Brachyura	104	42	52.3	50	40,4
Total	197	85			42.7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Al comparar la tendencia del número de familias en porcentaje (3) en Colombia con los registros mundiales (2), se observa un comportamiento parecido, se destacan los infraórdenes *Polychelidae* y *Achelata* con el número de familias en Colombia igual al número a nivel mundial (1 y 2 respectivamente).

En la Tabla 17.3 se presenta el número de géneros y de especies por infraorden y se dan los porcentajes para cada uno registrados para el Caribe colombiano. El Infraorden *Brachyura* (cangrejos verdaderos) es el grupo más rico tanto en géneros, como en especies (52,5 y 43,5% respectivamente). El infraorden *Anomura* es conjuntamente con los camarones *Caridea* el segundo más rico en géneros y el segundo en especies (16,3 y 23,8%). Se debe destacar que en los *Caridea* están los camarones pistola (*Familia Alpheidae*), una de las más diversificadas en el mundo, con el género *Alpheus* que en el Indopacífico puede tener más de 150 especies. Además, este grupo de camarones se caracteriza por ser uno de los organismos más veloces, cierran sus quelas a manera de disparo (de ahí se deriva su nombre) con una velocidad que alcanza 3 (ms) milisegundos.

TABLA 17.3. TABLA DEL NÚMERO Y DEL PORCENTAJE DE GÉNEROS Y ESPECIES DE CRUSTÁCEOS DECÁPODOS REGISTRADOS PARA EL CARIBE COLOMBIANO.

INFRAORDEN	NÚMERO GÉNEROS	NÚMERO ESPECIES	% GÉNEROS	% ESPECIES
Dendrobranchiata	13	27	4,71	4.4
Stenopodidea	3	5	1.1	0.8
Caridea	46	127	16.7	20.7
Polychelida	1	3	0,3	0.5
Achelata	5	7	1.82	1.1
Astacidea	6	8	2,2	1.3
Axiidea	12	24	4,3	3.9
Anomura	45	146	16.3	23.8
Brachyura	145	267	52.5	43.5
TOTAL	276	614	100	100

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

REFERENCIAS

- AN, J., WILLIAMS, J. D. Y YU, H. (2009). *The Bopyridae (Crustacea: Isopoda) parasitic on thalassinideans (Crustacea: Decapoda) from China*. Proc. Biol. Soc. Wash., 122 (2); 225 - 246.
- AUSUBEL, J. H., TREW CRIST, D. Y WAGGONE, P. E. (EDS.). (2010). *First census of marine life 2010. Highlights of a decade of discover. Census of Marine Life International Secretariat Consortium for Ocean Leadership. Printed in the United States of America*. 64 p.
- AVILA JIMÉNEZ, I. C., CUELLAR REINA, L. M. Y CANTERA KINTZ, J. R. (2011). *Crustáceos ectoparásitos y epibiontes de ballenas jorobadas, Megaptera novaeangliae (Cetacea: Balaenopteridae) en el Pacífico colombiano*. Cuadernos de Investigación UNED, 3 (2): 177 - 185.
- BOXSHALL, G. A. Y LINCOLN, R. J. (1983). *Tantulocarida, a new class of Crustacea ectoparasitic on other crustaceans*. Journal of Crustacean Biology. 3 (1): 1 - 16.

- BRATTEGARD, T. (1970). Mysidacea from shallow water in the Caribbean Sea. *Sarsia*, 43: 111 -154.
- BRATTEGARD, T. (1973). Mysidacea from shallow water on the Caribbean coast of Colombia. *Sarsia*, 54: 1-65.
- BRATTEGARD, T. (1974). A. Additional Mysidacea from shallow water on the Caribbean coast of Colombia. *Sarsia*, 57: 47-85.
- BRATTEGARD, T. (1974). B. Mysidacea from shallow water on the Caribbean coast of Panama. *Sarsia*, 57: 87-108.
- CAMPOS, N. H. (2003). Los isópodos marinos (Crustacea: Peracarida) del Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 4 (1): 79 -87.
- CAMPOVERDE, L. A. (2016). Conoce sobre el cangrejo gigante que trepa a los árboles y podría llegar a luchar contra un caimán. *Ciencia y Tecnología* 2016. 7 p.
- CORTÉS, J. S., CAMPOS, N. H. Y BOLAÑO-LARA, M. (2021). Primer registro del orden Tantulocarida Boxshall y Lincoln, 1983 (Crustacea) en aguas profundas del Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.*, 50 (1): 171 - 178.
- DORADO-RONCANCIO, E. F. Y DORADO-RONCANCIO, J. (2018). Primer registro del copépodo *Cymbasoma chelemense* (Copepoda: Monstrilloida) en el mar Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.* 47 (2): 157 - 163.
- GAVIRIA, S., DORADO-RONCANCIO, J. Y AHRENS, M. J. (2019). Revisión y actualización de la lista de especies de copépodos (Crustacea: Hexanauplia) del Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar y Cost.* 48 (1): 119 - 151.
- GUERRA-GARCÍA, J. M., KRAPP-SCHICKEL, T. Y MÜLLER, H. G. (2006). Caprellids from the Caribbean coast of Colombia, with description of three new species and a key for species identification. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 35: 149-194.
- KOBAYASHI, H., SHIMOSHIGE, H., NAKAJIMA, Y., ARAI, W. Y TAKAMI, H. (2019). An aluminum shield enables the amphipod *Hirondellea gigas* to inhabit deep-sea environments. *Plose One*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206710>, 17 p.
- LOWRY, J. K. Y DEMPSEY, K. (2006). The giant deep-sea scavenger genus *Bathynomus* (Crustacea, Isopoda, Cirolanidae) in the Indo-West Pacific. In Richer De Forges B. & Justine J.-L. (eds), *Tropical Deep-Sea Benthos. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle* 24 (193): 163-192.
- LLANO, M. (1982). Les ostracodes de la baie de Cartagena (Colombia). *Cah. Micropal.*, 3: 75 - 88.
- MANNING, R. B. Y FELDER, D. L. (1996). *Nannotheres moorei*, a New Genus and Species of Minute Pinnotherid Crab from Belize, Caribbean Sea (Crustacea: Decapoda: Pinnotheridae). *Proceedings of The Biological Society of Washington* 109:311-317.
- MORALES-NÚÑEZ, A. G., MORALES-RUIZ, C. Y ARDILA, N. E. (2017). First record of the family Sphyrapodidae Gutu, 1980 (Crustacea: Peracarida: Apseudomorpha) with the description of a new species of *Sphyrapus* from the Colombian Caribbean. *PeerJ* 5: e3947; DOI 10.7717/peerj.3947, 36 p.
- NAVAS, G. Y CAMPOS, N. H. (2001). Crustáceos estomatópodos colectados por los cruceros Inveemar-Macrofauna. Incluyendo dos nuevos registros para el mar Caribe colombiano. *Bol. Inv. Mar. Cost.* 30: 67 -76.
- ORTIZ, M. (1983). Los anfípodos (Gammaridea) de la costa del mar Caribe de la República de Colombia. *Rev. Invest. Mar.*, 4 (1): 23 - 31.
- ORTIZ, M. Y LEMAITRE, R. (1994). Crustáceos anfípodos (Gammaridea) colectados en las costas del Caribe colombiano, al sur de Cartagena. *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 23: 119 - 127.
- SOUTHWARD, A. J. (1975). Intertidal and shallow water Cirripedia of the Caribbean. *Stud. Fauna Curaçao*, 46: 1 - 53.
- WERDING, B. Y MULLER, H. G. (1990). Estomatopodos (Crustacea: Stomatopoda) de la costa norte de Colombia. *Carib. J. Sci.*, 26 (3-4): 104-121.
- WETZER, R. (1986). *Bathynomus* a living sea monster. *Terra*, 25 (2): 26 - 29.
- YOUNG, P. S. Y CAMPOS, N. H. (1988). Cirripedia (Crustacea) de la zona intermareal e infralitoral de la región de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 18: 153 - 164.
- ZHANG, Z. Q. (ED.). (2011). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Monograph Zootaxa* 3148: 237 p.

BIOPROSPECCIÓN MARINA: RETOS Y PERSPECTIVAS

CAPÍTULO 18

RETOS EN EL ESTUDIO DE PRODUCTOS NATURALES MARINOS: el suministro.

► **Leonardo Castellanos Hernández**

Profesor Asociado, Departamento de Química, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
lcastellanosh@unal.edu.co

Introducción

Los productos naturales han sido y siguen siendo la principal fuente de agentes terapéuticos para mejorar la salud de los hombres. En el mercado farmacéutico de hoy en día estos pueden llegar a conformar hasta el 75% del mismo. Eso no quiere decir que el hombre use directamente el producto obtenido de la naturaleza como medicamento, normalmente se requiere una serie de transformaciones para hacerlo más eficiente para tal fin. En general, se debe tener en cuenta que la inspiración de las moléculas usadas como principios activos está en la naturaleza (Newman y Cragg, 2020).

La bioprospección busca dar valor y uso a los productos naturales, y es un ejercicio complejo de varias etapas (Melgarejo *et al.*, 2002; Sticher, 2008).

El primer paso es a) Seleccionar la fuente, es decir, determinar qué tipo de organismos se va a estudiar. En el caso de la bioprospección marina serían organismos que habitan el mar. En general se sabe que

los extractos de organismos marinos son más activos que los obtenidos de organismos terrestres, pero no hay mucha información de carácter etno. La siguiente etapa de la bioprospección es la b) recolección de la muestra, proceso que resulta bastante retador en el mundo marino, pues no hay muchos profesionales expertos en este asunto. Luego, viene c) la extracción, en la que básicamente se sumerge ese organismo dentro de un disolvente, por ejemplo, el alcohol, para extraer la mayoría de las moléculas pequeñas -lo que se llaman metabolitos-, obteniéndose una colección enorme de metabolitos que se denominan extracto. Luego se concentra el extracto y se le hacen ensayos biológicos. Estos d) bioensayos, tal vez la fase más sensible de bioprospección, dirán qué tipo de actividad biológica tienen los metabolitos extraídos. Se pueden estandarizar directamente los extractos, determinar su toxicidad, y sus propiedades terapéuticas con el fin de tener un extracto industrializado, este es el camino que siguen los fitomedicamentos. En el otro camino de la bioprospección, el extracto es sometido a e) separación y aislamiento de los compuestos contenidos en él, para esto se usan técnicas cromatográficas usualmente guiadas por bioensayos, es decir, bioguiadas, buscando identificar las fracciones que contienen los compuestos responsables de la actividad. Finalmente, cuando se llega a un compuesto puro se f) determina su estructura y se establece su actividad biológica. Si esta resulta con calidad suficiente, se tiene lo que se llama una “cabeza de serie”, pero esta se debe optimizar en cuanto a sus propiedades como medicamento. Cuando se tiene el compuesto optimizado se tendrá un producto natural (o un derivado de este) comercial y se deben llevar a cabo estudios de mercado.

En todo este camino surge una gran pregunta ¿se tiene suficiente cantidad de compuesto para satisfacer el mercado? Normalmente la respuesta es no, esto es lo que se denomina como problema de suministro (Newman, 2016).

Medicamentos obtenidos de organismos del mar

Hasta el día de hoy y a partir de moléculas de fuentes marinas se han obtenido unos 16 fármacos (<https://www.marinepharmacology.org/approved>). Los primeros en ser obtenidos fueron la Cytarabine o ARA-C (1969) y la Vidarabine o ARA-A (1976), pero luego no hubo muchos avances en el campo hasta la llegada del siglo XXI. Esto fue de alguna manera angustiante, pues inicialmente los organismos marinos parecían ser una fuente muy promisoriosa de medicamentos, y luego no hubo avances hasta 2007, cuando se autorizó la comercialización en Europa de Yondelis™ (E-743). Esta molécula abrió el camino de la exploración sistemática de organismos del mar como fuente de medicamentos, y permitió el retorno de la confianza en esta fuente de PN (Productos Naturales), pese a que algunos otros fármacos de origen marino ya habían sido autorizados antes como el péptido Ziconotide (2004) y algunos ésteres etílicos de ácidos grasos insaturados (2004) (Figura 18.1). Recientemente se han identificado algunas moléculas muy interesantes como es el caso de la plitidepsin (Figura 18.2), un depsipéptido aislado de una ascidia mediterránea que es producido por cianobacteria “rara” asociada a la ascidia. Esta molécula tiene actividad contra el COVID-19, su mecanismo de acción es totalmente diferente a los demás fármacos disponibles y tiene muy buenas perspectivas como opción de tratamiento para la infección por COVID-19 (Papapanou *et al.*, 2021).

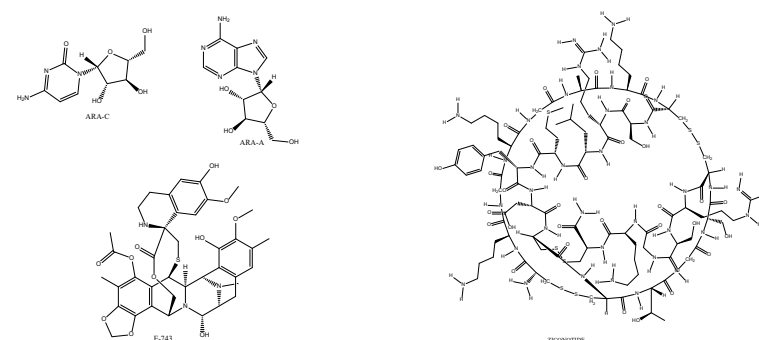


FIGURA 18.1. Fármacos pioneros obtenidos a partir de fuentes marinas.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

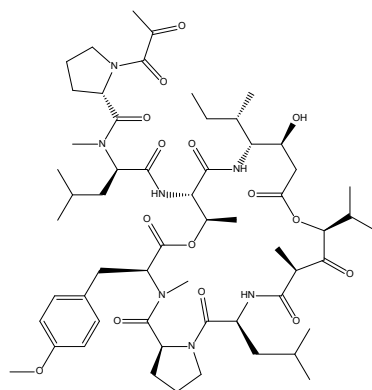


FIGURA 18.2. El péptido Plitidepsin con potente actividad contra el SARS-CoV-2.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Es interesante notar que en general, parece ser que los microorganismos son los verdaderos productores de muchos de los compuestos que se han obtenido de invertebrados marinos, incluyendo muchos de los fármacos que están actualmente en el mercado (Gerwick y Moore, 2012).

¿Qué organismos marinos se han venido estudiado como fuente de medicamentos? Desde 1963 hasta el 2013 los organismos más estudiados han sido los poríferos, es decir las esponjas, y los cnidarios, es decir los octocorales. Recientemente se está empezando a estudiar otros organismos, particularmente los microorganismos, pues parecen ser los verdaderos productores de las moléculas activas que se obtienen del macroorganismo. Así, se empezaron a estudiar fuertemente los microorganismos, las bacterias y los hongos, en los años más recientes (2014 – 2018), los organismos más estudiados han sido los hongos y las bacterias, mucho más que las esponjas y las cianobacterias. A futuro, se espera que la química de productos naturales, en general, pero particularmente la de marinos, esté dominada por microbiólogos (Blunt *et al.*, 2016; Carroll *et al.*, 2020).

Los Productos Naturales Marinos (PNM) también han encontrado aplicación en la industria de los cosméticos. Así, por ejemplo, el coral

Pseudopterogorgia elisabethae es fuente de moléculas que son usadas en cremas cosméticas de alto valor; o el ácido hialurónico que es producido por algas, y que tiene unas buenas propiedades de antienvjecimiento; o el caso de los ácidos mycosporínicos obtenidos de algas, particularmente del género *Porphyra*, que son muy buenos protectores ultravioletas, y que se usan en protectores solares (Jesumani *et al.*, 2019).

Retos en el estudio de productos naturales marinos

Las principales diferencias entre el estudio de los productos naturales vegetales (fitoquímica o el estudio químico de las plantas) y de los productos naturales marinos, es que el medio marino es, por mucho, el principal depósito de biodiversidad del planeta Tierra. Es decir, donde hay la mayor cantidad de organismos y uno supone que también se tiene una mayor diversidad química (Gomes *et al.*, 2016). Sin embargo, se enfrentan varios retos en el estudio de los productos naturales marinos entre los cuales vale la pena destacar los siguientes:

A) AUSENCIA DE INFORMACIÓN DE SU USO EN QUÍMICA TRADICIONAL

En general los organismos marinos tienen poco uso en las medicinas tradicionales de los pueblos, o al menos este asunto se ha estudiado muy poco. Esta realidad contrasta con el uso que la humanidad le ha dado a las plantas como fuente de salud (Álvarez-Bardón *et al.*, 2020), y que ha llevado al desarrollo de muchos medicamentos como la aspirina, que proviene del conocimiento tradicional europeo; o el taxol, un medicamento contra el cáncer que proviene de medicina tradicional de indígenas de Norteamérica.

Como ejemplos de conocimiento etno en productos naturales marinos se tiene la palitoxina, que es una molécula enorme y muy compleja dado el gran número de centros asimétricos que contiene y que fue aislada de *Palythoa toxica*. Los estudios iniciaron cuando químicos

de productos naturales Scheuer y Moore investigaron un mito de los habitantes de Hawaii, el limu-make-o-Hana, que decía que había una espuma verde que crecía cerca del mar. Esta espuma permitía envenenar las flechas para la caza y para la guerra (Berlinck *et al.*, 2019).

Otro ejemplo es el estudio de los pepinos de mar. Estos organismos son valorados por muchas medicinas asiáticas como nutraceuticos, hoy en día se sabe que contienen una gran cantidad de saponinas con buenas propiedades antitumorales para curar heridas, entre otras aplicaciones (Bahrami *et al.*, 2018).

Las algas del género *Sargassum* son usadas en la medicina tradicional china y tienen buenas propiedades cardioprotectoras (Chen *et al.*, 2016). Otro estudio interesante en Colombia es el liderado por la profesora Mónica Puyana de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, quién estudió una preparación de algas del Caribe colombiano. En el estudio se encontró que algunas algas tienen muy buenas propiedades para evitar daños oxidativos en las lipoproteínas de baja densidad (Rozo *et al.*, 2019).

B) COLECTA DIFÍCIL

Los organismos que más se han estudiado desde el punto de vista químico son sésiles, es decir, que no se mueven, y grandes, típicamente las esponjas y los octocorales. Muchos organismos pequeños y móviles pueden ser muy interesantes (por ejemplo, las liebres marinas), pero no se han estudiado a profundidad por la dificultad que su colecta representa para los buzos. Por otra parte, y en general, hace falta una buena interacción entre los expertos en taxonomía de estos organismos y los químicos de productos naturales. Los organismos de profundidad tampoco han sido muy estudiados (Wang *et al.*, 2015).

C) PRESENCIA DE SALES EN EL EXTRACTO

La concentración de sales en el mar es grande y ésta se refleja en los organismos marinos también. Las sales no están presentes en los organismos terrestres, por lo cual este problema no se da en los estudios fitoquímicos. Cuando los químicos quieren conocer la estructura de un compuesto se registran sus espectros de resonancia magnética nuclear (RMN), que visualmente se ven como una serie de rayas (señales); y lo que se hace es juzgar a partir de estas señales (posición e intensidad) qué tipo de compuesto es. Cuando en el extracto hay gran cantidad de sales, muchas de las señales del RMN¹³ pueden desaparecer por cambios en los mecanismos de relajación (Shimizu, 1998). El problema es complejo porque si se desaparece una señal no se tiene cómo saber de qué molécula se trata. Se han desarrollado protocolos para evitar la influencia de las sales (Ebada *et al.*, 2008), pero siempre será un fantasma que ronda al trabajar en organismos del mar.

D) HIDROFOBICIDAD

Se puede afirmar que en general los productos naturales marinos son biológicamente más activos que los obtenidos a partir de fuentes terrestres, típicamente las plantas (Cragg *et al.*, 2006). Pero eso no quiere decir que sean más fácilmente incorporados en los medicamentos, esto tiene que ver con que en general los compuestos de origen marino son hidrofóbicos, lo que lleva a que se den más violaciones a las reglas de Lipinski. Estas son una serie de características estructurales que debe tener un compuesto para ser usado como principio activo de un medicamento de uso oral. De un estudio de productos naturales marinos y de origen vegetal, se observa que el 60% de los productos naturales vegetales no violan ninguna de las reglas de Lipinski, mientras que en los de origen marinos solamente el 40% no lo hacen (Blunt *et al.*, 2011).

Por otra parte, las violaciones de las reglas de Lipinski son diferentes dependiendo de la fuente de los compuestos. Así, por ejemplo,

las moléculas obtenidas a partir de *Ascomycota* y *Rhodophyta* presentan al menos un 60% de cero violaciones. Mientras que los compuestos obtenidos a partir de las Cyanobacterias, que rinden compuestos muy activos, tienen un gran número de violaciones de las reglas de Lipinski (Blunt *et al.*, 2011).

E) BAJA CONCENTRACIÓN DE LOS COMPUESTOS

El principal problema es que estos compuestos, que, si bien son muy activos, están en muy baja concentración. Lo cual hace muy difícil su aprovechamiento por parte de la industria. Para ejemplificar este asunto es interesante el caso de la esponja *Spirastrella spinispirulifera*, de la que fue necesario coleccionar 2,5 Ton para recuperar al final solamente 10,7 mg del compuesto activo. Esto muestra que el compuesto no se podría obtener de manera sustentable a partir de una fuente natural, pero también que el compuesto es tan potente que a pesar de su bajísima concentración (4,8 mg/Ton) el extracto muestra ser muy activo (Sarker *et al.*, 2006).

Soluciones al problema del suministro

Con lo anterior queda claro que los invertebrados marinos son una fuente riquísima de metabolitos activos, pero la cantidad de esos compuestos es supremamente pequeña. Entonces para poder tener una explotación comercial de éstos, es decir, para superar el problema de suministro (Supply problem), se deben explorar nuevas maneras de obtener el compuesto de interés. Los caminos más explorados son a) la acuicultura de invertebrados marinos tanto in situ, es decir en el mar, como ex situ, es decir en acuario; b) el cultivo celular, es decir, no cultivar todo el invertebrado sino sus células o sus microorganismos asociados; c) síntesis química; y d) el aprovechamiento de residuos, esta forma ha sido bastante aprovechada para el caso de los organismos terrestres, donde se aprovechan los residuos de cosecha de diferentes plantas, por ejemplo las plantas del género *Passiflora* (Monzón

et al., 2021) con el objetivo de producir fitomedicamentos. Pero en el mundo marino esto no ha sido muy explorado como fuente de metabolitos, hay algunos ejemplos de aprovechamientos de vísceras de pescado para obtener ácidos grasos insaturados, pero realmente hace falta investigación en el tema.

A) MARICULTURA

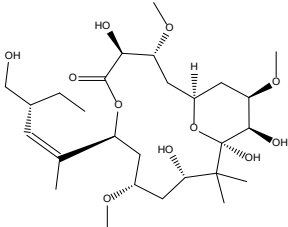
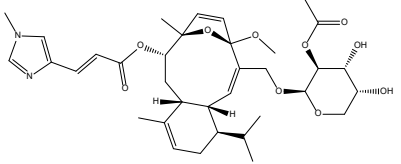
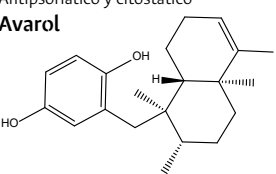
La maricultura se puede llevar por dos caminos: in situ -en el mar- y el ex situ -en acuario-. Los cultivos in situ tienen varios retos, siendo determinante la dificultad para controlar los parámetros de cultivo, esto porque no se puede controlar qué está pasando en el mar, es decir, las condiciones ambientales del mar son las que van a determinar el éxito del cultivo. Estos cambios ambientales podrían llevar a cambios en el consorcio microbiano, lo cual es determinante en los productos naturales recuperados del invertebrado cultivado. Hoy en día parece claro que un cambio en el consorcio microbiano tendrá un gran impacto en la producción de los compuestos, o en su concentración. Un asunto difícil será el posible arribo de patógenos, lo que no sería controlado en cultivos in situ. En los cultivos ex situ, es decir en acuario, se pueden controlar muchas de las condiciones que determinan el éxito del cultivo. No obstante, no es fácil determinar cuáles son las condiciones que afectan la producción de los PNM, por ejemplo, pH, salinidad, temperatura, luz, disponibilidad de oxígeno en el cultivo, remoción de los residuos, provisión de alimentos, etc. o incluso la presencia de depredadores. En este punto hay mucho que investigar por parte de los biólogos al respecto (Gomes *et al.*, 2016).

En términos generales, han sido más exitosos los cultivos in situ que los ex situ para recuperar metabolitos secundarios. Este es el caso del Pelorusido A, una molécula bastante compleja que se pudo obtener mediante el cultivo de la esponja *Mycale hentscheli*. Esta esponja tiene una tasa de crecimiento asombrosa (3.000% en ocho meses) pero tan sólo

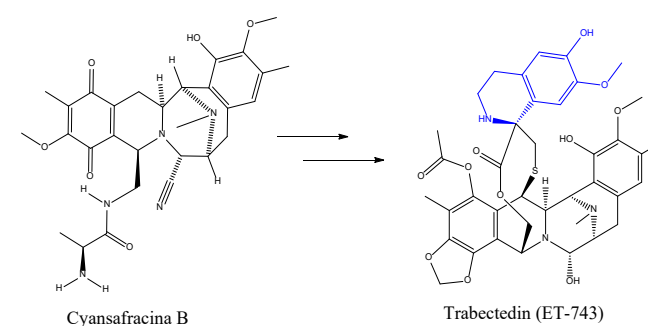
se obtiene 1 g del compuesto por cada 100 Kg de la esponja, por lo que no parece ser rentable económicamente. Otro caso interesante, es el del octocoral del *Erythropodium caribaeorum*, que produce la eleutherobina, que tiene muy buenas propiedades anticáncer y un rendimiento de hasta 12 g del compuesto por cada tonelada del octocoral. De nuevo, los costos de producción serían muy altos. Finalmente, se tiene el caso de la esponja *Dysidea avara*, que produce el Avarol, una molécula relativamente simple, lográndose producir hasta 3 g/Kg de esponja. Este cultivo podría ser un buen camino, pero como se trata de una molécula relativamente sencilla, también la síntesis química da un buen rendimiento de entre el 31 al 41% en 7 a 10 pasos. Esta última alternativa parece ser el camino para obtener de una manera sustentable el compuesto (Gomes *et al.*, 2016). En la Tabla 18.1 se resume la información.

Un caso que ilustra las dificultades de esta aproximación es el de la ET-743 (Figura 18.3), la trabectedina, que es la molécula que rompió la historia de los productos naturales marinos al mostrar que este camino si era posible. Esta molécula se aisló por primera vez del tunicado del Caribe *Ecteinascidia turbinata* en 1990. El compuesto resultó ser tan activo y se autorizaron colectas masivas del tunicado para obtener la cantidad suficiente para los estudios clínicos y preclínicos. De manera paralela se iniciaron los esfuerzos sintéticos para obtenerlos. En 1996 se logró la síntesis total del compuesto con un rendimiento aproximado del 1% en 36 pasos lineales. Lo anterior quiere decir que, si bien se logró la síntesis y desde el punto de vista de los químicos es extraordinario, desde el punto de vista comercial eso no parecía ser prometedor porque el rendimiento era muy bajo (Lanman, 2017)

TABLA 18.1. INFORMACIÓN DE MARICULTURA DE ALGUNAS ESPECIES.

ORGANISMO	COMPUESTO	COMENTARIO
Esponja <i>Mycale hentscheli</i>	Estabilizador de microtubulos Peloruside A 	Tasa de crecimiento 3000% /8 meses 1 g / 100 Kg de biomasa
Octocoral <i>Erythropodium caribaeorum</i>	Estabilizador de microtubulos Eleutherobina 	12 g / ton del gorgónido
Esponja <i>Dysidea avara</i>	Antipsoriático y citostático Avarol 	3 g / Kg de esponja Síntesis total rendimiento 31-41% en 7-10 pasos. (Sakurai et al., Chem. Eur. J. 2008, 14, 829 - 837). Cultivo celular (J. Nat. Prod. 2000, 63, 8, 1077-1081)

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

FIGURA 18.3. La cyansafracina B, obtenida por fermentación de *Pseudomonas fluorescens*, es transformada en Trabectedin (ET-743) mediante semisíntesis para obtener la cantidad suficiente de ET-743 para su comercialización.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Posteriormente, se intentó un programa de acuicultura de estos tunicados bajo el liderazgo de Pharmamar, una empresa española. Los tunicados de donde se aisló el compuesto eran de origen caribeño, y vivían en aguas cálidas; pero el cultivo se intentó en el Mediterráneo donde las aguas son más frías. Este asunto demoró bastante el proceso de superar la aclimatación del organismo. Finalmente, se logró la producción de 100 Ton métricas del organismo, lo que desde el punto de vista científico fue un avance enorme, pues cultivar este tipo de organismos es un reto considerable. Los humanos saben cultivar plantas, maíz, yuca, pero el cultivo de estos organismos no es conocido. No obstante, para este logro científico, su desarrollo desde el punto de vista económico no parecía ser viable, pues los costos de desplazamiento de la tonelada del organismo a los laboratorios, y su procesamiento (extracciones, recuperación de solvente, etc.) consumen mucha energía. Por cada tonelada de tunicado se lograba recuperar 1 g de compuesto lo que hizo inviable la operación (Cuevas, 2009; Lanman, 2017).

En este punto surge una posibilidad más o menos obvia, y es identificar cuál es el verdadero productor de la ET-743. ¿Serán los microorganismos asociados o el tunicado? En el 2015, mediante un estudio metagenómico del ADN del tunicado, se encontró que una Gammaproteobacteria-*Candidatus Endoecteinascidia frumentensis*, es la productora del compuesto; sin embargo, esta bacteria no se deja cultivar hasta donde se sabe (Schofield *et al.*, 2015).

Finalmente, se logró superar el problema de suministro mediante una combinación de cultivo de microorganismos y la semisíntesis. Así, mediante el cultivo de la bacteria *Pseudomonas fluorescens*, que no fue aislada desde la ascidia, se logró producir a nivel de multigrano la cyansafracina (Figura 18.3), una molécula muy relacionada con la ET-743. Luego, mediante reacciones química más o menos sencillas, se introdujo un anillo de isoquinolina (resaltado en azul) para obtener la

molécula ET-743. Este medicamento está siendo actualmente comercializado, y su producción se hace de esta manera, pero llevarlo hasta fases comerciales requirió muchos esfuerzos que incluyeron la maricultura y la síntesis total, entre otros (Cuevas y Francesch, 2009).

B) CULTIVO DE CÉLULAS

Muchos de los productos naturales aislados de invertebrados marinos son producidos por microorganismos, por lo tanto, el cultivo de microorganismos debería ser una fuente sustentable de los compuestos (Indraningrat *et al.*, 2016). En las esponjas, entre el 40 y el 60% de la biomasa del animal (holobionte) son microorganismos. La coevolución de los invertebrados marinos con microorganismos endo y epibióticos, que metabolizan constantemente los productos de los invertebrados, podrían sintetizar numerosos metabolitos secundarios, pudiendo ser una estrategia químico-ecológica que permite la defensa química, y la adaptación del huésped al medio marino, y mejora en su nutrición (Gomes *et al.*, 2016).

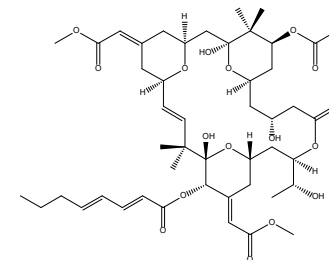
Con lo anterior, se puede pensar que para producir un compuesto de interés no es necesario cultivar todo el invertebrado, sino que se podrían cultivar sus microorganismos o sus células. En el caso de la esponja *Dysidea avara*, que produce antipsoriático y citostático Avarol (Tabla 18.1), esta se disoció en sus células, y a partir de ellas se recuperaron los primorfos que mostraron ser capaces de producir el avarol. Este trabajo de Müller y colaboradores mostró que es posible cultivar células de esponjas, y lograr que produzcan productos naturales. Sin embargo, este caso parece ser excepcional porque cuando se han ensayado con otras esponjas no ha funcionado muy bien. Lo anterior puede deberse a que los parámetros de crecimiento de las células de los poríferos son poco conocidos, y a que muchos de los productos naturales que se suelen obtener a partir de las esponjas tienen un carácter fuertemente citotóxico, es decir, podrían matar fácilmente a las células que se están cultivando. El caso del avarol parece ser exitoso porque no es citotóxico

sino citostático. Finalmente, se requeriría una biomasa del cultivo de células (primorfos) de *Dysidea avara* más grande que de la esponja natural para obtener la misma cantidad de compuesto (Müller *et al.*, 2000). Lo anterior sugiere que esta técnica no parece ser rentable.

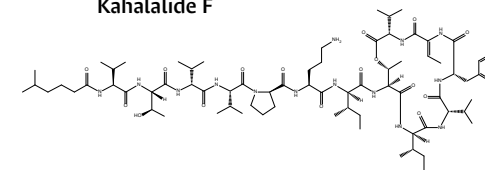
C) CULTIVO DE MICROORGANISMOS

La otra aproximación para obtener los compuestos es el cultivo de los microorganismos asociados al invertebrado. En la Figura 18.4 se muestran moléculas con una actividad biológica interesante, y que parecen ser producidas por microorganismos (Gomes *et al.*, 2016). Este es el caso de la del anticancerígeno briostatina, que será discutida más adelante. En el caso de la kahalalida, un péptido con propiedades citotóxicas, y que fue inicialmente aislada del molusco *Elysia rufescens*; sin embargo, no se espera que este tipo de compuestos sean producidos por los moluscos, por lo que se estudió su dieta y se determinó que se alimentan de alga del género *Bryopsis*. No obstante, las algas tampoco suelen producir péptidos, por lo que se estudiaron los microorganismos asociados al alga, y se encontró que el productor era una bacteria asociada a *Bryopsis*. Otro caso interesante, es el de diterpeno glicosidado eleutherobina, que se puede aislar de diferentes organismos poco emparentados genéticamente, lo que sugiere que el productor debe ser algún microorganismo asociado a ellos. El octocoral *Erythropodium caribaeorum* es la fuente más conocida. Finalmente, está el caso de del péptido conocido como dolastatina 10, que fue inicialmente aislado de una liebre marina y que hoy se sabe, es producido por una cianobacteria de la cual se alimenta la liebre (Gomes *et al.*, 2016) Esta molécula es muy importante porque ha sido la inspiración y base de desarrollo de los últimos cuatro o cinco medicamentos de origen marino que han salido al mercado, donde el péptido se une a un anticuerpo monoclonal a través de un link, lo que mejora su especificidad (<https://www.marinepharmacology.org/approved>).

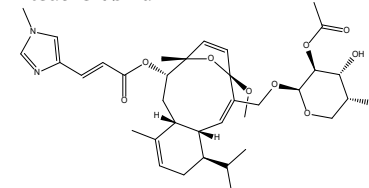
Bryostatin 1



Kahalalide F



Eleutherobina



Dolastatin 10

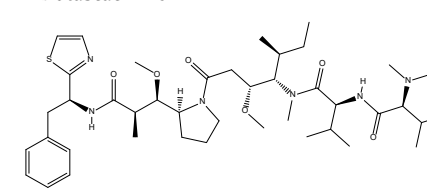


FIGURA 18.4. Productos naturales marinos bioactivos producidos por microorganismos y originalmente aislados de macroorganismos: Bryostatin 1, Kahalalide F, eleutherobina, y dolastatin 10.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La posibilidad de cultivar los microorganismos asociados a los invertebrados marinos como fuente de los PNM resulta muy promisor, pero es importante tener en cuenta que los estudios genómicos revelan que más del 99% de las bacterias no son cultivables por métodos estándar. Esto pone de manifiesto que escasamente se está raspando la superficie del potencial que tienen estos microorganismos como fuente de PNM, por lo que en este punto hay un camino enorme para investigación de microbiólogos y los biólogos. En general, las bacterias son muy difíciles de cultivar en ausencia del invertebrado o tienen un crecimiento muy lento. De otro lado, aunque hipotéticamente se pudiera cultivar este simbionte, lo cual va a ser muy complejo, el compuesto que se quiere obtener podría no producirse porque podría hacer falta alguna señal del hospedero. Actualmente, se están expresando esos genes en huéspedes heterólogos, es decir, en bacterias o microorganismos que se cultivan con mayor facilidad, que permitan la producción de ese PNM en suficientes cantidades. Hay dos ejemplos de moléculas que se pueden ob-

tener en cantidades suficientes a partir del cultivo de microorganismos: el péptido Kahalalide (Figura 18.4) que se está obteniendo a través del cultivo de esta bacteria *Vibrio mediterranei*; y el alcaloide conocido como manzamina (Figura 18.5) que es producido por esta bacteria *Micromonospora* M42 que fue obtenida a partir de la esponja *Acanthostrongylophora* sp. de aguas profundas (Gomes *et al.*, 2016).

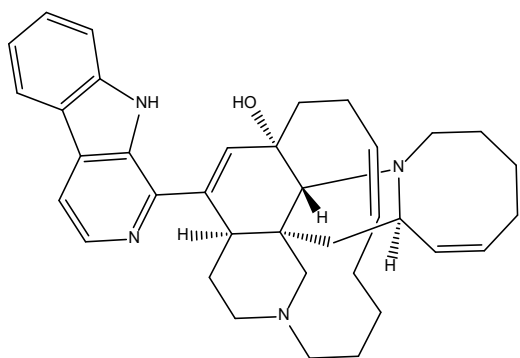


FIGURA 18.5. La manzamina A, antimetastático, obtenida por cultivo de *Micromonospora* M42 que fue obtenida de las esponjas de aguas profundas de Indonesia *Acanthostrongylophora* sp.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

D) SÍNTESIS Y SEMISÍNTESIS

Finalmente están las estrategias de síntesis y semisíntesis. En la primera se parte de compuestos poco complejos y de fácil accesibilidad, mientras en la segunda se parte de productos naturales ya complejos a los que se les hace pocas transformaciones.

En 1986 se aisló a partir de la esponja *Halichondria okadae* el compuesto halichondrina B, una molécula muy compleja que tiene muchos centros asimétricos (Figura 18.6). Se encontró que tiene una potentísima actividad anticancerígena, fue tan interesante que el NCI patrocinó la cosecha de una tonelada métrica de otra esponja, *Lyssodendoryx* sp., donde también se había detectado su presencia. Esto podría indicar que el compuesto no es producido por la esponja misma sino por algún

microorganismo asociado a ellas. De la tonelada métrica se lograron aislar 310 mg de halichondrina B, cantidad suficiente para los estudios preclínicos. Sin embargo, los rendimientos no fueron adecuados. En forma paralela se desarrolló su síntesis total, que era muy retardadora por ser una molécula muy compleja, y se logró hacerlo en 90 pasos con un rendimiento muy bajo, por lo tanto, la síntesis total no prosperó como fuente de la halichondrina B. Durante un tiempo largo no pasó nada, hasta que, en el año 2001, casi 20 años después, se pudo determinar que no se necesita toda la molécula halichondrina B para tener la actividad biológica, sino que la actividad estaba contenida en la parte derecha de la misma. En este punto es importante recordar que los productos naturales son una fuente muy importante de fármacos, pero no quiere decir que se usen estos PN de manera intacta, normalmente se tiene que transformar para mejorar sus propiedades. De esta manera se desarrolló una molécula más simple, el mesilato de eribulina, con una actividad anticancerígena muy potente y prometedora. Para el año 2016 se logró la síntesis total de la molécula con rendimientos adecuados para obtenerla con fines comerciales. Esta es la molécula más compleja vendida en el mercado actual, es conocida como Halaven® cuya síntesis fue desarrollada por Eisai Inc, y se usa para el tratamiento del cáncer metastásico (Cortes *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2016).

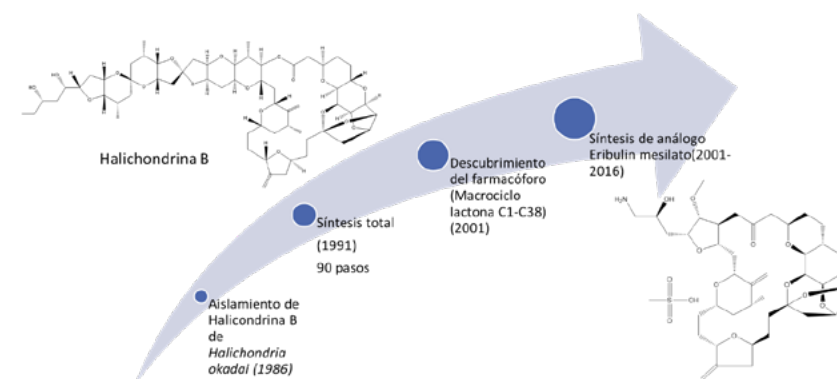


FIGURA 18.6. Línea de tiempo del desarrollo del mesilato de eribulina a partir de halichondrina B.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Existen otros productos naturales marinos que se pueden obtener a nivel masivo por métodos de síntesis y semisíntesis, y se encuentran resumidos en la Figura 18.7 (Liang *et al.*, 2019). Estos compuestos tienen alto interés por sus propiedades farmacológicas.

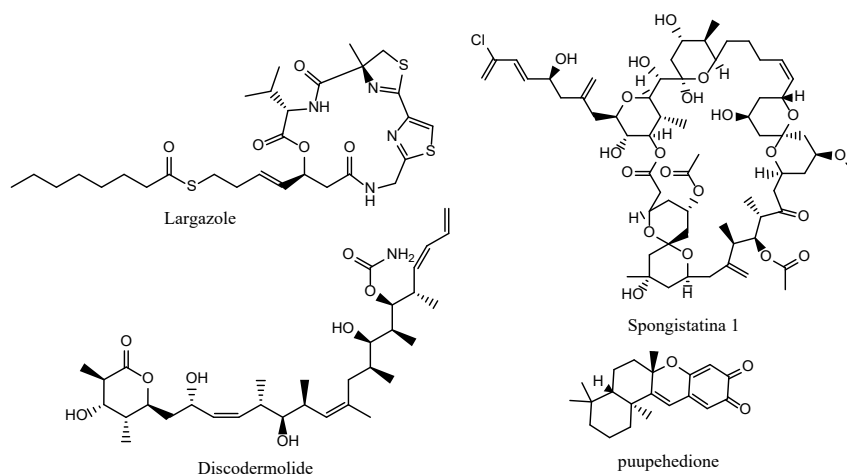


FIGURA 18.7. Ejemplos de PNM cuyo problema de suministro se ha resuelto vía síntesis química (Largazole, Spongistatina y Discodermolide) y semisíntesis (puupehedione)

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

E) COMBINACIÓN DE MÉTODOS

La briostatina (Figura 18.4) fue aislada a partir del briozoo *Bugula neritina*, que fue colectado en La Florida por el biólogo Jack Rudloe en 1968. Este organismo es abundante y coloniza muchos muelles flotantes y barcos. En el año 1982 el compuesto se aisló y se identificó encontrándose que tiene una actividad anticáncer magnífica, luego se probó que también tiene propiedades contra el alzhéimer y el VIH. La actividad es tan buena, que el NCI patrocinó la colecta de 14 ton de este organismo para obtener 18 g del compuesto. Es decir, el rendimiento a partir de la fuente natural es del 0,00014%, muy baja para una explotación comercial. Lo siguiente fue tratar de cultivar el briozoo *Bugula* tanto *ex situ* como *in situ*; los cultivos *ex situ* no fueron exitosos básicamente por problemas en el suministro de alimento y en el suministro de larvas.

Los cultivos *in situ* no rendían cantidades suficientes del compuesto (7,5 µg/g peso seco). Si se comparan los datos de rendimiento de los cultivos *in situ* contra los obtenidos para las muestras silvestres, se encuentra que estas últimas tenían mayor concentración que las obtenidas en el tanque. El precio aproximado por cada gramo de briostatina sería muy grande, más o menos unos 120 millones de pesos. Por lo anterior éste no parecía ser este el camino para el suministro sustentable del compuesto (Mendola, 2003; Halford, 2021).

La pregunta siguiente fue ¿quién es el verdadero productor de la briostatina? A través de estudio genómico se encontró que era una γ -proteobacteria simbiótica denominada *Candidatus Endobugula sertula*. Lo anterior se pudo probar porque cuando *Bugula neritina*, era cultivada en presencia de antibióticos había una fuerte reducción de la expresión de los genes de PKS, que son los responsables de la producción de la briostatina. Sin embargo, esta bacteria simbiótica *Candidatus Endobugula sertula* no se deja cultivar, por lo que este camino no se puede usar como fuente del compuesto (Davidson, 1999; Haygood *et al.*, 1999; Halford, 2021).

Finalmente, Wender *et al.* (2017) lograron la síntesis total de la molécula en 29 pasos, teniendo un rendimiento total del 5%. Mediante esta síntesis a gran escala, se podrían obtener más o menos 20 g del compuesto por año, que si bien no parecería una gran cantidad es importante decir que con un gramo de briostatina se pueden atender 1.000 pacientes de cáncer o 2.000 de alzheimer. Lo anterior muestra que briostatina es muy activa y podrá ser producida mediante esta síntesis.

Algunas experiencias en la Universidad Nacional de Colombia

En la Universidad Nacional de Colombia se ha venido trabajando en productos naturales marinos como fuente de compuestos bioactivos por más de 40 años, y por supuesto que nos hemos enfrentado al

problema del suministro. En este sentido, se ha trabajado en el cultivo de diferentes organismos como cianobacterias (Becerra, 2017), hongos (Romero, 2016) y bacterias (Naranjo, 2017; Betancur, 2018; Vinchira-Villarraga, 2020), e incluso esponjas (Ruiz *et al.*, 2013). En el país hay también experiencias del cultivo de esponjas.

Los trabajos más recientes en este campo en la UN han sido sobre el cultivo de microorganismos, que significa superar retos como su cultivo a nivel masivo (¿qué medio seleccionar?, ¿aireación?, ¿luz?, ¿temperatura?, etc.), o cómo mantener la producción del compuesto de interés durante el escalado del cultivo.

Este es el caso de *Paenibacillus* PNM-115, una bacteria aislada de lodos marinos que tiene una muy buena actividad contra *Burkholderia glumae*, un patógeno del arroz. Es interesante notar que PNM-115 crece en diferentes medios, pero en algunos el extracto de su cultivo no es activo (medio marino, medio nutritivo y medio ISP2), mientras que en otros el extracto sí resulta activo (TSB y LB). Adicionalmente, se pudo observar cuando se cultiva en TSB que se producían solamente 11 mg/15 L; mientras cuando se cultiva en LB podrían producir 1,5 g/15 L (Naranjo, 2017). Con lo anterior queda evidenciado la enorme importancia que tiene el medio de cultivo en la producción de compuestos bioactivos.

Hay otra forma de inducir la producción de un compuesto y es el co-cultivo. Si se colocan dos (o más) microorganismos en el mismo espacio confinado, estos empiezan a “hablar” mediante señales químicas, y esto puede inducir la producción de diferentes moléculas como respuesta a la presencia del segundo microorganismo. En un trabajo del grupo de Productos Naturales Marinos se cultivaron 15 hongos de origen marino, y se obtuvieron sus extractos a los que se les probó su actividad biológica contra bacterias fitopatógenas del género *Burkholderia*. Se encontró que el hongo *Purpureocillium lilacinum* PNM-67 producía una serie de péptidos del tipo

lilacinina con actividad antibacteriana. Luego el hongo PNM-67 se co-cultivó con muchos otros microorganismos, y se observaron los cambios en el metabolismo. En el caso del enfrentamiento del hongo con bacterias del género *Rhodococcus* se observó que en co-cultivo se producía un pigmento de color naranja oscuro. Lo anterior es evidencia de que estos dos organismos están compitiendo, y seguramente produciendo compuestos que antes no producía. Para evidenciar esta situación se hicieron análisis por LC-MS/MS y se observó que cuando el hongo se cultiva sólo se producen solamente dos lilacininas; pero cuando es co-cultivado con RKHC-26 se producen otras siete lilacininas. Esto es interesante, ya que por medio de co-cultivos se podrían obtener extractos con una mayor concentración de lilacininas; y con una mayor diversidad de compuestos lo que seguramente puede derivar en una actividad antibacteriana más potente. De otro lado, cuando el hongo PNM-67 se co-cultivó con la bacteria PNM-123 también se detectó la producción de nuevas moléculas; y cuando se hizo con la bacteria PNM-115, de la que se aisló ese péptido con buenas propiedades contra *Burkholderia*, se producen más de 66 compuestos nuevos según el análisis por LC-MS/MS, interesantemente se producen nuevas familias de compuestos, de esa manera se puede ampliar mucho la diversidad química en los cultivos, por lo tanto obtener metabolitos más activos y seguramente en mayor concentración (Martínez, 2019).

Esta estrategia se está usando en biocontroladores, lo que se hizo fue tomar una serie de bacterias del mar y mirar si eran capaces de crecer en las raíces del tomate y se encontró que sí, que esas bacterias marinas, sí crecen en las raíces el tomate en el mundo terrestre. Esto seguramente se da porque las bacterias marinas que crecen en unos ambientes fuertemente competitivos están acostumbradas a competir por espacio. Algunas de las bacterias como, PNM200, no solamente crecen, sino que además promueven el crecimiento del tomate. Así, resulta muy interesante que un microorganismo marino se pueda usar para controlar enfermedades terrestres (Vinchira, 2020).

REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-BARDÓN, M., PÉREZ-PERTEJO, Y., ORDÓÑEZ, C., SEPÚLVEDA-CRESPO, D., CARBALLEIRA, N. M., TEKWANI, B. L., MURUGESAN, S., MARTINEZ-VALLADARES, M., GARCÍA-ESTRADA, C., REGUERA, R. M. Y BALAÑA-FOUCE, R. (2020). Screening Marine Natural Products for New Drug Leads against Trypanosomatids and Malaria. *Mar. Drugs* 18, 187. <https://doi.org/10.3390/md18040187>
- BAHRAMI, Y., ZHANG, W. Y FRANCO, C. M. M. (2018). Distribution of Saponins in the Sea Cucumber *Holothuria lessona*; the Body Wall Versus the Viscera, and Their Biological Activities. *Mar. Drugs* 2018, Vol. 16, Page 423 16, 423. <https://doi.org/10.3390/MD16110423>
- BECERRA, L. (2017). Evaluación del perfil metabólico de un consorcio de cianobacterias bentónicas arrecifales del Caribe colombiano bajo condiciones de cultivo. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- BERLINCK, R. G. S., MONTEIRO, A. F., BERTONHA, A. F., BERNARDI, D. I., GUBIANI, J. R., SLIVINSKI, J., MICHALISKI, L. F., TONON, L. A. C., VENANCIO, V. A. Y FREIRE, V. F. (2019). Approaches for the isolation and identification of hydrophilic, light-sensitive, volatile and minor natural products. *Nat. Prod. Rep.* 36, 981–1004. <https://doi.org/10.1039/c9np00009g>
- BETANCUR JARAMILLO, L. A. (2018). Actinobacterias marinas como fuente de compuestos con actividad biológica para el control de fitopatógenos. *Univ. Nac. Colomb. Fac. Dep. Química* 192.
- BLUNT, J. W., COPP, B. R., KEYZERS, R. A., MUNRO, M. H. G. Y PRINSEP, M. R. (2016). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* 33, 382–431. <https://doi.org/10.1039/c5np00156k>
- BLUNT, J. W., COPP, B. R., MUNRO, M. H. G., NORTHCOTE, P. T. Y PRINSEP, M. R. (2011). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* 28, 196–268. <https://doi.org/10.1039/C005001F>
- CARROLL, A. R., COPP, B. R., DAVIS, R. A., KEYZERS, R. A. Y PRINSEP, M. R. (2020). Marine natural products. *Nat. Prod. Rep.* <https://doi.org/10.1039/c9np00069k>
- CHEN, Z., XU, Y., LIU, T., ZHANG, L., LIU, H. Y GUAN, H. (2016). Comparative Studies on the Characteristic Fatty Acid Profiles of Four Different Chinese Medicinal Sargassum Seaweeds by GC-MS and Chemometrics. *Mar. Drugs* 2016, Vol. 14, Page 68 14, 68. <https://doi.org/10.3390/MD14040068>
- CORTES, J., MONTERO, A. J. Y GLÜCK, S. (2012). Eribulin mesylate, a novel microtubule inhibitor in the treatment of breast cancer. *Cancer Treat. Rev.* 38, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2011.03.006>
- CUEVAS, C. Y FRANCESCH, A. (2009). Development of Yondelis (trabectedin, ET-743). A semisynthetic process solves the supply problem. *Nat. Prod. Rep.* 322–33. <https://doi.org/10.1039/b808331m>
- DAVIDSON, S. K. Y HAYGOOD, M. G. (1999). Identification of sibling species of the bryozoan *Bugula neritina* that produce different anticancer bryostatins and harbor distinct strains of the bacterial symbiont “*Candidatus Endobugula sertula*.” *Biol. Bull.* 196, 273–280. <https://doi.org/10.2307/1542952>
- EBADA, S. S., EDRADA, R. A., LIN, W. Y PROKSCH, P. (2008). Methods for isolation, purification and structural elucidation of bioactive secondary metabolites from marine invertebrates. *Nat. Protoc.* 3, 1820–1831. <https://doi.org/10.1038/nprot.2008.182>
- GERWICK, W. H. Y MOORE, B. S. (2012). Lessons from the past and charting the future of marine natural products drug discovery and chemical biology. *Chem. Biol.* 19, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2011.12.014>
- GOMES, N., DASARI, R., CHANDRA, S., KISS, R. Y KORNIENKO, A. (2016). Marine Invertebrate Metabolites with Anticancer Activities: Solutions to the “Supply Problem.” *Mar. Drugs* 14, 98. <https://doi.org/10.3390/md14050098>
- CRAGG, G. M., NEWMAN, D. J. Y YANG, S. S. (2006). Natural Product Extracts of Plant and Marine Origin Having Antileukemia Potential. *The NCI Experience. J. Nat. Prod.* 69, 488–498. <https://doi.org/10.1021/NP0581216>
- HALFORD, B. (2021). The Bryostatins’ Tale With the promise of treating cancer , Alzheimer’s , and HIV , this family of decades after its discovery 1–9.
- HAYGOOD, M. G., SCHMIDT, E. W., DAVIDSON, S. K. Y FAULKNER, D. J. (1999). Microbial symbionts of marine invertebrates: opportunities for microbial biotechnology. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* 1, 33–43. <https://doi.org/10.3389/jmcb.2013.00195>

- INDRANINGRAT, A. A. G., SMIDT, H. Y SIPKEMA, D. (2016). Bioprospecting sponge-associated microbes for antimicrobial compounds. *Mar. Drugs* 14, 1–66. <https://doi.org/10.3390/md14050087>
- JESUMANI, V., DU, H., ASLAM, M., PEI, P. Y HUANG, N. (2019). Potential use of seaweed bioactive compounds in skincare—a review. *Mar. Drugs* 17, 1–19. <https://doi.org/10.3390/md17120688>
- LANMAN, B. B. A. (2017). Addressing supply issues for natural products in the clinic. *Science* (80). 358, 166–167. <https://doi.org/10.1126/science.aao5346>
- LIANG, X., LUO, D. Y LUESCH, H. (2019). Advances in exploring the therapeutic potential of marine natural products. *Pharmacol. Res.* 147, 104373. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.104373>
- MARTÍNEZ-RUBIANO, P. A. (2019). Co-cultivo de microorganismos de origen marino como estrategia para la producción diferencial de metabolitos especializados. *Univ. Nac. Colomb. Universidad Nacional de Colombia*.
- MELGAREJO, L.M., SÁNCHEZ, J., REYES, C., NEWMARK, F., SANTOS-ACEVEDO, M. (2002). Plan Nacional en Bioprospección Continental y Marina (propuesta técnica). Bogotá.
- MENDOLA, D. (2003). Aquaculture of three phyla of marine invertebrates to yield bioactive metabolites: Process developments and economics. *Biomol. Eng.* 20, 441–458.
- MONZÓN DAZA, G., MENESES MACÍAS, C., FORERO, A. M., RODRÍGUEZ, J., ARAGÓN, M., JIMÉNEZ, C., RAMOS, F. A. Y CASTELLANOS, L. (2021). Identification of α -Amylase and α -Glucosidase Inhibitors and Ligularoside A, a New Triterpenoid Saponin from *Passiflora ligularis* Juss (Sweet Granadilla) Leaves, by a Nuclear Magnetic Resonance-Based Metabolomic Study. *J. Agric. Food Chem.* 69, 2919–2931. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07850>
- MÜLLER, W. E. G., BÖHM, M., BATEL, R., DE ROSA, S., TOMMONARO, G., MÜLLER, I. M. Y SCHRÖDER, H. C. (2000). Application of Cell Culture for the Production of Bioactive Compounds from Sponges: Synthesis of Avarol by *Primmorphs* from *Dysidea avara*. *J. Nat. Prod.* 63, 1077–1081. <https://doi.org/10.1021/np000003p>
- NARANJO, S. J. (2017). Estudio de bioprospección de compuestos inhibidores de la comunicación celular (QS) como estrategia de control de agentes fitopatógenos. *Universidad Nacional de Colombia*.
- NEWMAN, D. J. (2016). Developing natural product drugs: Supply problems and how they have been overcome. *Pharmacol. Ther.* 162. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2015.12.002>
- NEWMAN, D. J. Y CRAGG, G. M. (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *J. Nat. Prod.* 83, 770–803. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b01285>
- PAPAPANOU, M., PAPOUTSI, E., GIANNAKAS, T. Y KATSAOUNOU, P. (2021). Plitidepsin: Mechanisms and Clinical Profile of a Promising Antiviral Agent against COVID-19. *J. Pers. Med.* 2021, Vol. 11, Page 668 11, 668. <https://doi.org/10.3390/JPM11070668>
- ROMERO, A. R. (2016). Búsqueda de compuestos con actividad antimicrobiana a partir de hongos aislados de ambientes marinos. Fase I. *Universidad Nacional de Colombia*.
- ROZO, G., ROZO, C., PUYANA, M., RAMOS, F. A., ALMONACID, C. Y CASTRO, H. (2019). Two compounds of the Colombian algae *Hypnea musciformis* prevent oxidative damage in human low density lipoproteins LDLs. *J. Funct. Foods* 60, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.06.001>
- RUIZ, C., VALDERRAMA, K., ZEA, S. Y CASTELLANOS, L. (2013). Mariculture and Natural Production of the Antitumoural (+)-Discodermolide by the Caribbean Marine Sponge *Discodermia dissoluta*. *Mar. Biotechnol.* 15, 571–583. <https://doi.org/10.1007/s10126-013-9510-7>
- SARKER, S. D., LATIF, Z. Y GRAY, A. I. (2006). Natural Product Isolation. *Nat. Prod. Isol.* 1–25. <https://doi.org/10.1385/1-59259-955-9:1>
- SCHOFIELD, M. M., JAIN, S., PORAT, D., DICK, G. J. Y SHERMAN, D. H. (2015). Identification and analysis of the bacterial endosymbiont specialized for production of the chemotherapeutic natural product ET-743. *Environ Microbiol.* 17, 3964–3975. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12908>. Identification
- SHIMIZU, Y. (1998). Purification of Water-Soluble Natural Products 329–341. https://doi.org/10.1007/978-1-59259-256-2_11

STICHER, O. (2008). Natural product isolation. *Nat. Prod. Rep.* 25, 517-54. <https://doi.org/10.1039/b700306b>

VINCHIRA-VILLARRAGA, D. M. (2020). Bioprospección de bacterias aisladas de ambientes marinos con actividad biocontroladora frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Universidad Nacional de Colombia.

WANG, Y. T., XUE, Y. R. Y LIU, C. H. (2015). A brief review of bioactive metabolites derived from deep-sea fungi. *Mar. Drugs* 13, 4594-4616. <https://doi.org/10.3390/md13084594>

WENDER, P. A., HARDMAN, C. T., HO, S., JEFFREYS, M. S., MACLAREN, J. K., QUIROZ, R. V., RYCKBOSCH, S. M., SHIMIZU, A. J., SLOANE, J. L. Y STEVENS, M. C. (2017). Scalable synthesis of bryostatin 1 and analogs, adjuvant leads against latent HIV. *Science* (80). 358, 218-223. <https://doi.org/10.1126/science.aan7969>

EXPLORANDO LOS OCÉANOS

CAPÍTULO 19

EXPEDICIONES CIENTÍFICAS EN COLOMBIA Y PROGRAMA ANTÁRTICO COLOMBIANO

► **Capitán de Navío Juan Camilo Forero Hauzeur**

Secretario Ejecutivo de la Comisión Colombiana del Océano

ocean@cco.gov.co

Esta cátedra resulta muy pertinente teniendo en cuenta que este año iniciamos la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible. Asimismo, el próximo 8 de junio, estaremos celebrando el Día Mundial del Océano; entonces, mejor no podría ser la cátedra del día de hoy para hablar de este reto tan enorme respecto a la necesidad de explorar y conocer nuestro territorio marítimo.

Programa Nacional de Expediciones Científicas (PNEC)

En cuanto al Plan Nacional de Expediciones Científicas Marinas (PNEC), vale la pena mencionar que esta iniciativa se gesta al interior de la Comisión Colombiana del Océano en el año 2014, con el propósito de fortalecer la generación de conocimiento integral y de apropiarnos de nuestro territorio marítimo nacional. Es preocupante que la gran mayoría de los colombianos ignora que cerca de la mitad del territorio nacional es territorio marítimo y desconoce las oportunidades de tener costa en el mar Caribe y en el océano Pacífico, además de ser uno de los 21 países en el mundo con esta particularidad.

La Figura 19.1 nos recuerda el verdadero mapa de Colombia, no el mapa fragmentado en el que nuestros territorios insulares, como

nuestro Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, que, dicho sea de paso, es el departamento más grande del país, aparece en un recuadro en una esquina sin una escala y sin una referencia. Por esto mismo, es importante esta apropiación del conocimiento y, a través de esta, logramos generar conciencia para que se haga un adecuado uso del ambiente, de los recursos y de los bienes y servicios ecosistémicos que nos brinda el territorio marino-costero. Asimismo, a través del desarrollo de estas expediciones científicas nacionales realmente hacemos un ejercicio de soberanía a través del conocimiento y la ciencia.

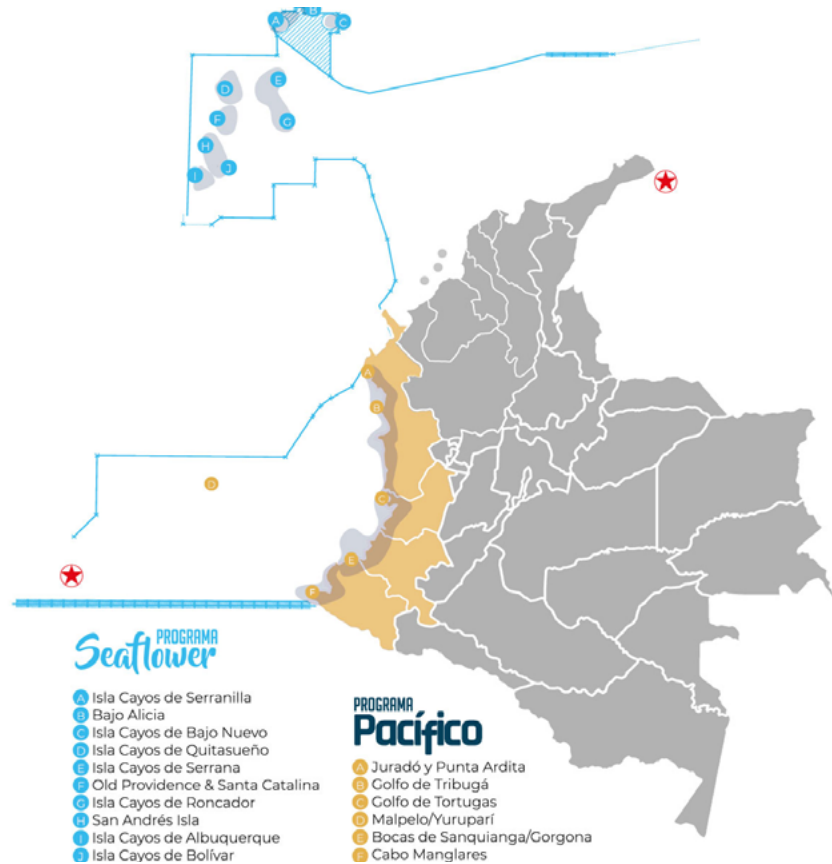


FIGURA 19.1. Mapa del Plan Nacional de Expediciones Científicas Marinas.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Fases y líneas de acción del PNEC

En la pirámide de la Figura 19.2 se puede observar cuál ha sido el fundamento de este Plan Nacional de Expediciones Científicas Marinas, que inició con el Programa Seaflower en 2014 y en 2018, bajo el mismo esquema, se constituyó el Programa Pacífico. El PNEC nos habla de las necesidades y de la importancia del desarrollo de investigación científica para conocer, defender y potenciar las capacidades que tiene nuestro país y, por supuesto, de cuidar el ambiente, que sabemos no solamente es un proveedor de bienes y servicios, sino también es una protección natural que tenemos frente a fenómenos naturales como el calentamiento global, la erosión, los tsunamis y demás. De esta manera, la base de esta gran pirámide es justamente la necesidad de levantar información fundamental sobre las áreas geográficas proyectadas como prioritarias en un plazo que va del 2014 al 2028. En este caso, tanto para Caribe como para Pacífico, tenemos unas áreas núcleo localizadas sobre las islas mayores de nuestro archipiélago y las islas Cayo. Mientras que, en el Pacífico, sobre el área del litoral y muy próximamente, aspiramos poder realizar nuestra versión en el área del archipiélago de Malpelo.



FIGURA 19.2. Fases del Plan Nacional de Expediciones Científicas Marinas.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En la segunda fase (2020 y 2026) el PNEC se propone hacer el análisis integral de los resultados de estos proyectos de investigación y estudiar cuál es su aporte de manera holística. Cabe mencionar que estas fechas representan una proyección que, de alguna manera, estamos cumpliendo pese a las dificultades que recientemente se han presentado por la pandemia del COVID-19. Para el año 2026 aspiramos poder establecer un criterio sólido de entendimiento de las diferentes dinámicas físicas, biológicas, oceanográficas y socio-ecológicas para aportar de manera contundente, entre 2028 y 2030, a la actualización de los diferentes planes de manejo que correspondan en las diferentes jurisdicciones territoriales y sectoriales del país (Figura 19.2).

Paralelamente, el PNEC ha desarrollado proyectos en siete de las nueve áreas de investigación establecidas por el Programa Nacional de Ciencias del Mar y Recursos Hidrobiológicos del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de la siguiente manera:

- *Componente físico: 21 proyectos de investigación.*
- *Cultura y educación: 17 proyectos de investigación.*
- *Aprovechamiento sostenible: 7 proyectos de investigación.*
- *Calidad ambiental: 9 proyectos de investigación.*
- *Biodiversidad y ecosistemas: 72 proyectos de investigación.*
- *Amenazas y riesgos: 5 proyectos de investigación.*
- *Ingenierías y tecnologías aplicadas: 11 proyectos de investigación.*

Análogamente, para el desarrollo de las Expediciones Científicas debemos resaltar el esfuerzo de la Armada Nacional y de la Dirección General Marítima, al disponer sus plataformas de superficie que nos

permiten llegar a nuestras áreas de investigación. Se suman también dos actores fundamentales que son las alcaldías y las gobernaciones, con quienes llevamos a cabo un trabajo fuerte de sensibilización para que puedan entender que los beneficiados de estos procesos serán ellos como autoridades y como tomadores de decisiones fundamentadas en el conocimiento científico. Igualmente, las autoridades ambientales juegan un papel importante, así como las Corporaciones Autónomas Regionales y los Parques Nacionales Naturales, que ejercen un rol relevante en la articulación de las necesidades y en la orientación para el desarrollo de las expediciones. Pero quizá lo más importante en todo este ejercicio es la participación de las comunidades, tanto en los litorales del Pacífico como del Caribe, de manera que también sean partícipes del proceso en curso, que, dicho de manera coloquial, no vean a los expedicionarios como con un grupo de personas que llega a sus territorios a realizar una serie de actividades, se van y no quedó nada. No, es fundamental fomentar el diálogo científico y el diálogo ancestral con las comunidades, de manera que el conocimiento sea integral.

Balance del PNEC

En la línea de tiempo (Figura 19.3) podemos notar el desarrollo de las expediciones, que como se mencionó anteriormente, iniciaron desde el año 2014 en el área Seaflower, específicamente en los puntos núcleo de la Reserva de Biosfera Seaflower, realizando un recorrido general de toda la reserva. En el año 2015 estuvimos en Roncador, en el 2016 en Serrana, en el 2017 en Serranilla, en el año 2018 inició el Programa Pacífico en el área de Cabo Manglares y en simultánea, continuamos en el área de Seaflower en Albuquerque. En el año 2019 se desarrolló la expedición Old Providence & Santa Catalina, que fue una expedición extraordinaria, porque tuvo un componente importantísimo como lo es el componente cultural y social, al ser un proceso de investigación en un área poblada, en un núcleo poblado. Para ese año también se tenía previsto el desarrollo de la segunda versión en el Pacífico, en Bocas de Sanquianga, pero

infortunadamente, por restricciones de orden presupuestal en el 2019 y por temas de pandemia en el 2020, tuvimos que postergar el desarrollo de esta fase de expedición y la logramos concluir muy satisfactoriamente el pasado mes de mayo 2021 en Bocas de Sanquianga (que comprende territorios del departamento de Nariño y del departamento del Cauca). Vale la pena recabar que, en este sector se ha recorrido bastante de nuestro territorio marítimo buscando encontrar respuestas que la ciencia, que la comunidad y que las autoridades necesitan.

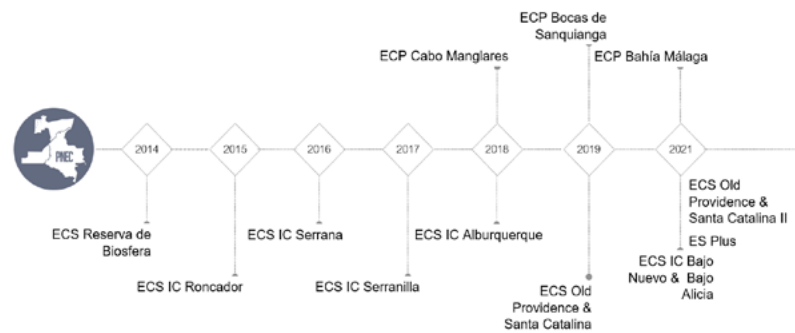


FIGURA 19.3. Línea del tiempo PNEC.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A través del PNEC hemos motivado la participación de más de 250 investigadores, de los cuales cerca de 64 son investigadores locales, 86 instituciones y 34 grupos de investigación reconocidos por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación. En cuanto a las inversiones institucionales, que son inversiones importantes (\$35.000.000.000), más de \$1.800.000.000 se han invertido directamente en los lugares de las expediciones, lo que se traduce en beneficios económicos para las comunidades locales a través de pagos por bienes y/o servicios y desarrollo de productos para la apropiación social del conocimiento. Se está tratando de construir la base para una adecuada toma de decisiones, donde las entidades del estado y las estructuras de gobierno conozcan realmente las potencialidades que tienen en su territorio marítimo, pero también, para que conozcan cuáles son las responsabilidades y

las acciones que deben implementar para poder aprovechar sosteniblemente los recursos y garantizar el bienestar de la comunidad. Por eso, es importante resaltar esos 64 investigadores locales (cifra que afortunadamente va en crecimiento), que conocen las realidades de sus regiones y áreas, que conocen las problemáticas.

Todo esto, a su vez, nos ha permitido generar una serie de resultados, reflejados en 9.100 nuevos registros para el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB), fundamentales para el crecimiento de las bases de datos. De esta manera y con muchísimo esfuerzo, apuntamos al suministro de información en coherencia con uno de los retos de la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible, como lo es que el océano sea transparente, para que toda la información esté disponible y sea accesible para aquellos que la necesiten. Es igualmente importante que la información y los datos sean entendibles, porque con esos datos se puede llegar a nuevas conclusiones. Sabemos que los tomadores de decisiones necesitan esa información procesada para poder incorporarla en esos desarrollos importantes en sus regiones.

Asimismo, el PNEC ha propiciado la generación de 28 publicaciones científicas nacionales, internacionales e indexadas, 27 productos audiovisuales de sensibilización, 15 eventos académicos y 18 eventos de socialización entre las comunidades. Esto es valiosísimo, porque es fundamental que las comunidades se estén sintiendo parte de este proceso, que les contemos qué es lo que estamos haciendo en los territorios, de manera que, estimulando e incentivando ese diálogo científico con el conocimiento ancestral y local, veamos cómo podemos construir soluciones integradas y articuladas de la mejor manera.

Impacto del PNEC

Uno de los principales logros que tiene el desarrollo de estas expediciones va muchísimo más allá de la ciencia per se. Queremos fortalecer

la articulación intersectorial y así mejorar estas capacidades interinstitucionales, buscar esa complementariedad, para no hacer doble trabajo y de esa manera, poder garantizar que efectivamente se haga una gestión integral de nuestro territorio.

Un segundo impacto consiste en visibilizar los sistemas productivos tradicionales desde su vocación territorial, lo que es igualmente importantísimo porque es darles relevancia a las comunidades y así mismo poder orientarlos sobre las buenas prácticas, sobre el uso de las artes adecuadas –en el caso de la pesca– y del conocimiento de algunos aspectos técnicos que son fundamentales.

Otro aspecto vital es la articulación de la política pública ambiental del océano con la integridad de los ecosistemas, pues hay que entenderlo como un todo y la política ambiental también debe ser enriquecida con la realidad de que hay muchas otras actividades que eventualmente pueden generar conflictos. Entonces, a través del conocimiento, justamente lo que estamos propendiendo es ayudar a eliminar conflictos y a orientar el desarrollo de soluciones viables.

Y como se mencionó previamente, la soberanía a través de la ciencia es algo muy relevante, porque en la medida que no conozcamos lo que tenemos, no vamos a ser conscientes de eso y muchísimo menos lo vamos a defender, no lo vamos a cuidar, ¿por qué? porque no lo sentimos como parte de nuestra realidad personal, de nuestra realidad comunitaria.

A su vez, el PNEC pone sus bases en las líneas de acción de la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros (PNOEC) y de la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y Zonas Costeras e Insulares de Colombia (PNAOCI) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, proyectándose como una estrategia integral para el cumplimiento de los objetivos que nos fija el Plan

Nacional de Desarrollo y el CONPES 3990 “Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030”. En este punto hace falta un ingrediente adicional que está próximo a ser promulgado, que son los Intereses Marítimos Colombianos, que también están articulados y transversalizados con el PNEC.

Se debe reiterar en que el intercambio de conocimiento y saberes tradicionales con la ciencia es la mejor forma para construir ese futuro para el desarrollo de los territorios. De hecho, a través de la integración de todos estos actores involucrados en el PNEC (cerca de 100 instituciones nacionales e internacionales, gubernamentales, académicas y ONG’s, sumado a la participación de las comunidades), buscamos generar un verdadero modelo de coordinación intersectorial en función del desarrollo de conocimiento y el fortalecimiento de la gestión integral del territorio de manera más inclusiva y participativa.

Expediciones del año 2021.

» PROGRAMA SEAFLOWER

- *ECS Old Providence & Santa Catalina (ECS 2021-I): La Expedición Científica Seaflower (ECS) 2021-I, se realizó entre el 8 y 27 de julio de 2021 en las Islas de Providencia y Santa Catalina, con el objetivo de evaluar de manera comparativa los impactos de los huracanes Eta e Iota, utilizando como línea base la información generada en el 2019, así como desarrollar actividades aplicadas de restauración ecosistémica. Contó con la participación de 39 investigadores (14 locales), quienes desarrollaron 11 proyectos que involucraron todos los ecosistemas estratégicos del complejo arrecifal.*
- *Expedición Científica Seaflower Plus 2021 (Decreto Presidencial 277 del 11 de marzo de 2021): Llevó a cabo su fase de campo desde el 4 de septiembre hasta el 19 de noviembre, con el componente marino a bordo del buque oceanográfico ARC Providencia iniciando el 28 de octubre. Este último, realizó levantamiento de información biológica y batimétrica de aguas someras en las Islas Cayos de Roncador, Serrana, Quitasueño, Providencia y San Andrés, mientras que el componente terrestre se desarrolló solo en las islas mayores.*

- ECS Islas Cayos de Bajo Nuevo y Bajo Alicia (ECS 2021-II): Llevó a cabo su fase de campo entre el 22 de noviembre y el 3 de diciembre, a bordo también del buque ARC Providencia. Mediante la coordinación e investigación de la CCO, Armada, DIMAR, Coralina y Minciencias, además del trabajo de organizaciones como la Universidad Nacional, Universidad Javeriana de Cali, Sepia Rov, Reef Shepherd y Fundación Natibo, se generó información sobre el estado de los ecosistemas sumergidos de los complejos arrecifales más septentrionales del país.

» **PROGRAMA PACÍFICO**

- ECP Bocas de Sanquianga (ECP2021-I): que como se mencionó anteriormente, desarrolló su fase de campo entre el 28 de abril y el 18 de mayo. En esta versión, se llevaron a cabo nueve proyectos de investigación (de las cinco áreas temáticas comentadas previamente). Participaron 34 expedicionarios de 23 instituciones diferentes, y contamos con el apoyo operacional del Buque Oceanográfico “ARC Providencia”, durante 21 días de operación, así como la participación activa de siete Consejos Comunitarios de la Comunidad Negra del área de influencia del Parque Nacional Natural Sanquianga.
- ECP Bahía Málaga (ECP2021-II): Del 19 de noviembre al 14 de diciembre se desarrolló la fase de campo, en la cual se llevaron a cabo diez proyectos de investigación, a cargo de 46 expedicionarios de 17 instituciones del orden nacional e internacional. Durante 24 días de operación total, los investigadores aunaron esfuerzos junto con cinco Consejos Comunitarios de la Comunidad Negra, que pertenecen al Esquema de Manejo Conjunto del Parque Nacional Natural Uramba – Bahía Málaga.

Cabe anotar que sumado al esfuerzo científico desarrollado durante los 21 días de campo de la ECP 2021-I, resta por realizar durante los próximos 12 meses de procesamiento y generación de resultados, que serán puestos en conocimiento público a través del Sistema de Información Geográfico Integrado, creado por la DIMAR para cada expedición científica realizada en el marco del PNEC, como un esfuerzo para contribuir con la toma de decisiones a partir del trabajo interinstitucional.

A través de estos esfuerzos nos acogemos a la ciencia que necesitamos para el país marítimo que queremos, un país marítimo limpio, saludable y resiliente, predecible, seguro, productivo, transparente, inspirador y estimulante.

» **PROGRAMA ANTÁRTICO COLOMBIANO (PAC)**

El Programa Antártico Colombiano (PAC) es el proyecto de Estado que coordina la investigación científica y sus actividades inherentes en el continente antártico, con el propósito de promover las ciencias antárticas; procurar la protección y conservación ecosistémica, e incentivar el intercambio y la transferencia de información, conocimiento técnico y capacidades científicas.

El PAC promueve el interés nacional y la presencia efectiva de Colombia en la Antártida, así como la participación dinámica e influyente en las decisiones que se tomen en el marco del Sistema del Tratado Antártico (STA).

Pero ¿por qué es importante la Antártica? Sabemos que entre el 70 y 80% del agua potable, del agua dulce, se encuentra concentrada en este continente que, además, es uno de los mayores reguladores del clima y de la temperatura, pues lo que ocurre en la Antártica afecta el resto del planeta. También es vital entender las interconexiones tanto atmosféricas y oceánicas que tiene nuestro país y nuestro continente con la Antártica, lo que nos permite mejorar en la generación precisa de modelos predictivos ambientales utilizados en los procesos de gestión de riesgos de desastres. Igualmente, estudiar las relaciones biogeográficas entre la fauna y flora de la Antártica y la biota suramericana, facilita el entendimiento sobre patrones de distribución y movilidad de especies, estableciendo parámetros para la formulación de planes de manejo pesquero a nivel nacional, con los cuales aumentar la seguridad alimentaria en Colombia. Llevar a cabo investigaciones en la Antártica también nos abre la posibilidad de involucrarnos con grupos

multinacionales de investigación científica con los cuales intercambiar información científica y buenas prácticas en investigación. Todo esto representa una oportunidad enorme para aumentar nuestras capacidades de investigación y motivarnos hacia la proyección de Colombia como una verdadera Potencia Bioceánica en cuanto a la ciencia.

Hay que mencionar que estamos alineados con diferentes ejes de política tanto de la Política Nacional del Océano y de los Espacios Costeros (PNOEC), del CONPES 3990 “Colombia Potencia Bioceánica Sostenible 2030”, como de la Política de Defensa y Seguridad (PDS) y del Plan Nacional de Desarrollo.

En la Figura 19.4 se presenta una línea de tiempo, cuyos hitos nos acercan cada día más a ese proceso de ser miembro consultivo del Tratado Antártico y que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Desde los años 1980s hemos venido trabajando en cómo alistar la institucionalidad nacional en la adecuada participación en el escenario Antártico. De esta manera, en 1989 el país se adhirió al Tratado Antártico, y dos años más tarde corrobora su compromiso en coadyuvar en la protección y conservación del Continente Blanco firmando el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid). Paralelamente, se crean instrumentos de coordinación a nivel nacional (como la Comisión Nacional para Asuntos Antárticos).
- De la mano de todos los diferentes actores interesados se desarrolla en el año 2013 una agenda científica que es nuestra hoja de ruta, resaltada en PNOEC y se crea el Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos. En el año 2014 realizamos la primera Expedición Científica a la Antártica y en 2016 empezamos a participar como miembros asociados del Comité Científico para las Investigaciones en la Antártica (SCAR).
- Asimismo, incorporamos medidas de protección ambiental a la Antártica, en la legislación nacional, que se ve refrendada en el Plan Nacional de Desarrollo y en la Política de Defensa y Seguridad.
- Finalmente, en el mes de abril de 2021 fuimos recibidos como miembro observador en el Consejo de Administradores de Programas Antárticos Nacionales (COMNAP).

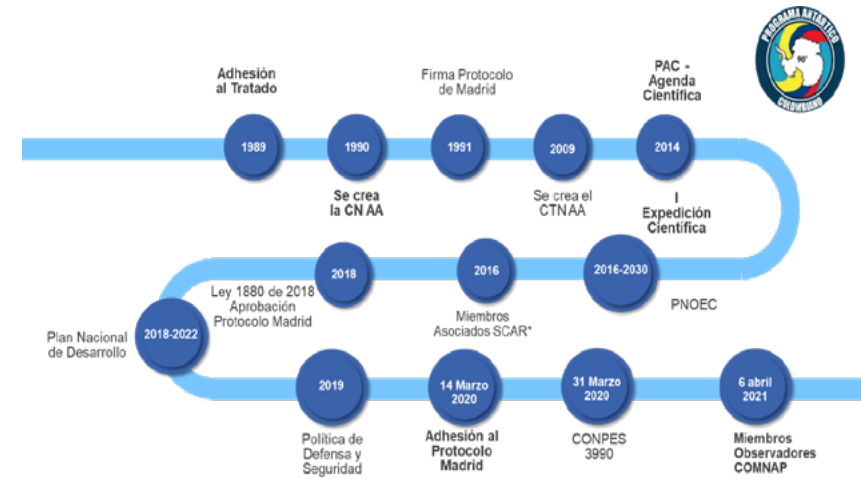


FIGURA 19.4. Línea del tiempo del PAC.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Etapas y expediciones científicas

El PAC ha tenido cinco etapas (Figura 19.5), que trazan nuestro derrotero para ser miembros consultivos del Tratado Antártico y para contar con nuestra estación científica, lo que nos permitirá mejorar nuestras capacidades de hacer investigación permanente. Para este aspecto también es necesario desarrollar cooperación internacional de manera recíproca y tener un adecuado uso y autogestión de nuestras expediciones.



FIGURA 19.5. Etapas del PAC.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

En la Figura 19.6 se presenta un resumen de las siete expediciones que hemos realizado hasta la fecha en el marco del PAC. Detallamos la participación de nuestros buques en cuatro oportunidades, de aviones de la Fuerza Aérea Colombiana también en cuatro oportunidades, lo que nos ha permitido justamente consolidar nuestra posición en el escenario antártico y por supuesto, fortalecer las capacidades institucionales y la posibilidad de brindar cooperación a otros países.

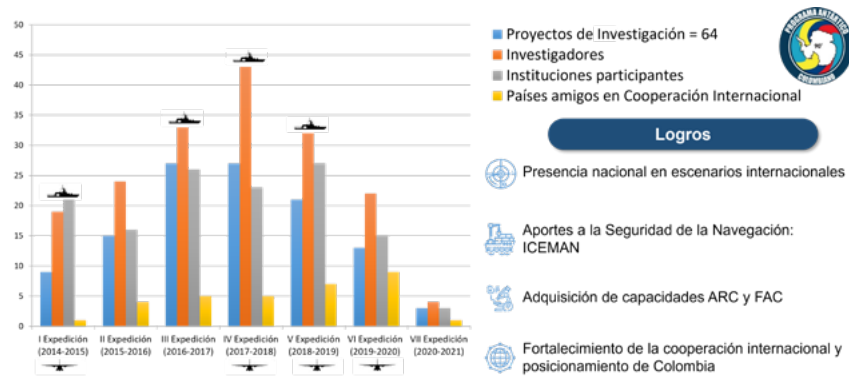


FIGURA 19.6. Trazabilidad y logros de las Expediciones Científicas a la Antártica.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Cabe mencionar que, durante la última expedición se desarrollaron tres proyectos en asocio con Ecuador, que fue el país que nos acogió en sus instalaciones de manera que pudiéramos, por decirlo así “salvar nuestra participación” en el último verano antártico. Esto nos dio la posibilidad de proyectar proyectos de cooperación y proyectos binacionales que se van a empezar a implementar en el futuro próximo.

CONCLUSIONES

La convocatoria de propuestas de investigación de nuestra novena expedición al Continente Blanco, que se realizaría en el año 2022-2023, estará abierta hasta el 1º de octubre de este año. También es importante que se tenga muy claro el tema de la lectura e interpretación adecuada de los términos de referencia: debe haber pertinencia con las áreas temáticas, las líneas de investigación de la Agenda Científica Antártica de Colombia; considerar la pertinencia y lo prioritario de las líneas de investigación que nos establece el Comité Científico de Investigaciones Antárticas; la importancia de dar respuesta a los planes de trabajo plurianual de la reunión consultiva del tratado antártico (que, de alguna manera, ya está trazado, por lo que pueden consultar qué tan pertinente es su trabajo) a las líneas de investigación de los países anfitriones, en caso tal de que deseemos hacerlo en cooperación con un tercer país; y, finalmente, pues si hay alguna alianza o alguna proyección apalancada con privados, pues por supuesto, se les darán las prioridades correspondientes.

Les extiendo una invitación a esas dos iniciativas, a que formulen sus proyectos, a que se acerquen a nosotros y podamos dialogar con ustedes para poder complementar y enriquecer este proceso tan maravilloso de construir país marítimo.

CONVERSATORIO- RESUMEN EXTENDIDO

CAPÍTULO 20

RETOS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA EN CIENCIAS DEL MAR

► **José Ernesto Mancera Pineda**

*Profesor Titular, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá
jemancerap@unal.edu.co*

La institución universitaria es una organización milenaria que se ha expandido en el orbe desde la Edad Media hasta nuestros días, su éxito es de tal calibre, que tiene muy pocos precedentes. Se reconoce que los sistemas universitarios son esenciales para el progreso y desarrollo, no hay países realmente avanzados que no cuenten con un sistema universitario eficaz. Los grandes hitos o revoluciones en la historia han venido acompañados de la investigación que nace a partir de la educación. Hechos como las revoluciones agrícolas, industrial, técnica y verde, han tenido a las universidades como gestores de conocimiento para el desarrollo de las mismas y de la sociedad en general.

El sistema Universitario en Colombia está basado en tres ejes misionales: Investigación, Formación y Extensión, es decir, que para que una institución de educación superior sea considerada universidad, debe garantizar generación, apropiación y transferencia de conocimiento. Esos tres ejes misionales o pilares esenciales sostienen como objetivo fundamental la “formación del capital humano” (Figura 20.1). Los tres pilares deben tener la misma relevancia para que se logre el propósito final de la institución.

El buen desarrollo de un sistema universitario garantiza que su sociedad ingrese a lo que actualmente se conoce como “Sociedades del Conocimiento”, aquellas en la que el desarrollo y la sostenibilidad de la calidad de vida se fundamentan en la creación, acceso y utilización de información y conocimiento. En una sociedad del conocimiento, las fuentes de productividad están principalmente asociadas a ciencia y tecnología, por lo tanto, la producción de información y conocimiento es más importante que la de materiales.



FIGURA 20.1. Modelo conceptual que muestra los ejes misionales del sistema universitario como base para lograr su objetivo.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El conocimiento debe ser interdisciplinar, con un enfoque centrado en la solución de problemas, orientado al trabajo en equipo, soportado en el pensamiento crítico y acompañado de herramientas tecnológicas.

Teniendo en cuenta que cerca del 46% del territorio colombiano es mar y atendiendo a lo establecido en la visión de la Universidad Nacional de Colombia, que a la letra dice: “En el año 2034 somos la principal universidad colombiana, reconocida por su contribución a la Nación, y por su excelencia en los procesos de formación, investigación, e innovación social y tecnológica. Nuestra capacidad de reinventarnos nos ha llevado a tener una organización académica y administrativa novedosa, flexible, eficiente y sostenible, con comunicación transparente y efectiva en su interior, con la Nación y con el mundo, y comprometida con los procesos

de transformación social requeridos para alcanzar una sociedad equitativa, incluyente y en paz”, se ha propuesto consolidar una política de ciencia, tecnología e innovación que incluya a las ciencias del mar como componente fundamental para el desarrollo nacional desde las regiones.

La inclusión de las ciencias del mar no es algo nuevo en las actividades de la Universidad, desde hace más de cuatro décadas se han venido adelantando programas de posgrado en ciencias del mar y diferentes grupos de investigación de seis de las nueve sedes de la Universidad: Bogotá, Medellín, Palmira, La Paz, Caribe y Tumaco, han desarrollado proyectos de investigación en el Pacífico, Caribe continental y Caribe Insular.

La Universidad cuenta con un complejo sistema de investigación (SIUN) y con una herramienta operativa denominada HERMES. El SIUN está conformado por diferentes actores de ciencia, tecnología e innovación como los semilleros que tienen especial énfasis en los estudiantes, y los grupos de investigación con profesores, estudiantes y egresados. Actualmente se encuentran registrados en HERMES 952 grupos de investigación, de los cuales 618 participan en las convocatorias nacionales que MinCiencias realiza, lo que permite hacer una lectura a futuro sobre la fuerza y la potencia que estos grupos pueden tener en la investigación a nivel nacional (Figura 20.2). El SIUN también está integrado por centros e institutos de investigación como el CECIMAR – Instituto de Estudios en Ciencias del Mar de la Universidad Nacional, adscrito a la Sede Caribe y localizado en la ciudad de Santa Marta en el INVEMAR – Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, adscrito al Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

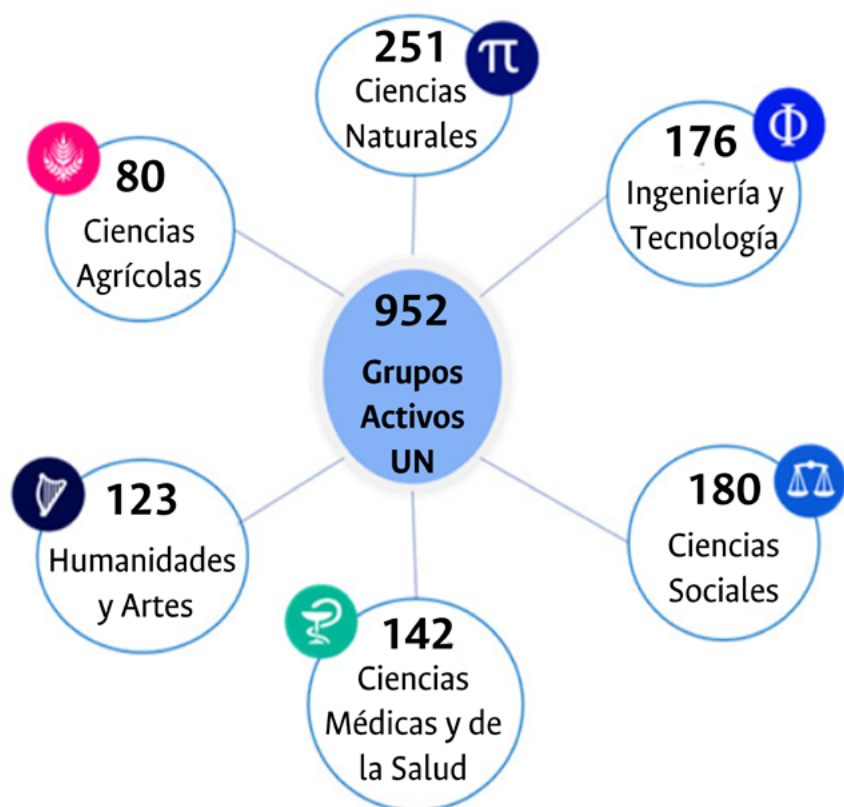


FIGURA 20.2. Grupos de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, registrados en la Universidad Nacional.

FUENTE: HERMES UNAL (2022).

Formación

La Universidad Nacional de Colombia cuenta con un posgrado a nivel de maestría y doctorado en Biología – Línea Biología Marina desde 1979. Dicho programa se desarrolla en Santa Marta, en convenio con el INVEMAR. Algunas promociones se han llevado a cabo en San Andrés, en el Instituto de Estudios Caribeños de la Sede Caribe. Hasta 2009 el programa fue administrado académica y financieramente por el Departamento de Biología e Instituto de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias de la Sede Bogotá. Desde 2010 es administrado directamente por el CECIMAR (<http://caribe.unal.edu.co/formacion/posgrados.html>).

La Universidad Nacional participa en el Doctorado en Ciencias de Mar que se ofrece de manera interinstitucional junto con las universidades de Antioquia, Jorge Tadeo Lozano, del Magdalena, del Valle, del Norte, la Universidad Alemana Giessen y el INVEMAR. Dicho programa busca formar investigadores en las áreas de la Oceanografía, Medio Ambiente, Recursos y Sociedad, Economía y Política, permitiendo la generación de nuevos conocimientos, temas de investigación y la utilización de nuevas tecnologías en el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos (<https://minas.medellin.unal.edu.co/formacion/doctorados/doctorado-en-ciencias-del-mar>).

De otra parte, la Sede Caribe de la Universidad Nacional, ofrece la Maestría en Estudios del Caribe, que estudia desde una perspectiva multidisciplinar y transdisciplinar las múltiples realidades, problemas y discusiones relacionados con el Gran Caribe. Desde su creación, en 1999, la maestría forma profesionales de múltiples disciplinas para comprender las realidades diversas y complejas de la región y contribuir a la solución de problemas (<http://caribe.unal.edu.co/formacion/maestrias-en-estudios-del-caribe.html>).

Si bien existen programas de posgrado en ciencias del mar, a nivel de pregrado son muy pocos los programas existentes en Colombia, por lo que la Universidad Nacional tiene el reto de establecer un programa con enfoque, integral. Este reto ya se está abordando con el liderazgo del CECIMAR y profesores de diferentes sedes, quienes están gestando un programa en oceanología, que permita la formación integral en las cuatro áreas básicas de esta ciencia: Biología, Geología, Química y Física.

A nivel de infraestructura, se cuenta con dos importantes apoyos, el Sistema Nacional de Laboratorios, que cuenta con 683 unidades registradas en HERMES (Figura 20.3) y el Sistema Nacional de Bibliotecas (SINAB) que invierte anualmente una suma considerable para que la

comunidad académica pueda tener acceso a bases de datos de revistas indexadas. Desde Vicerrectoría y la Dirección Nacional de Investigación y Laboratorios (DNIL) se trabaja permanentemente en el fortalecimiento de estos sistemas incorporando plataformas tecnológicas y equipos de alta gama que tengan transversalidad de uso.

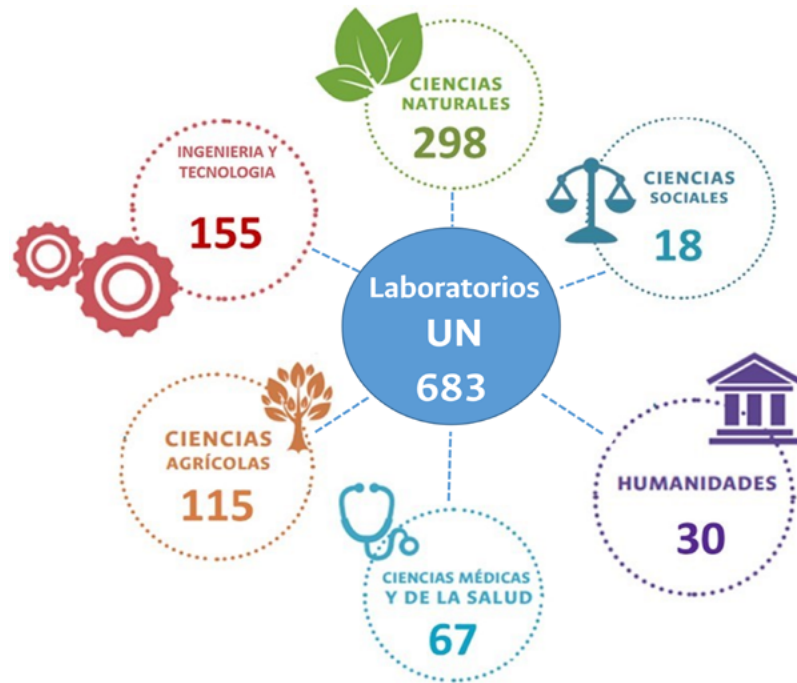
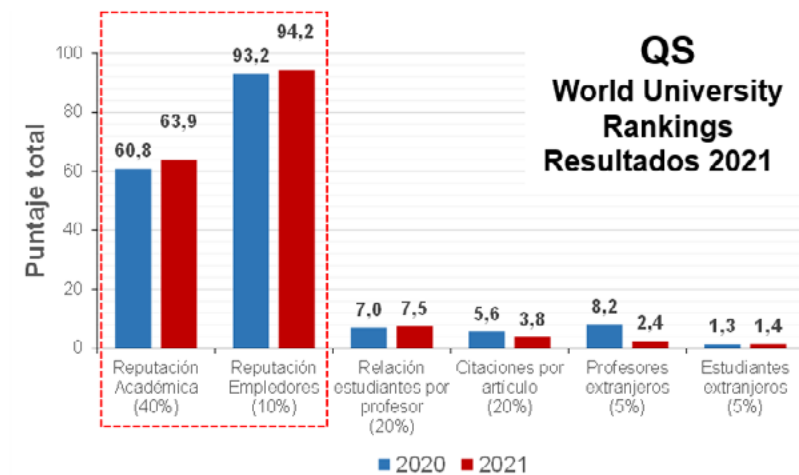


FIGURA 20.3. Laboratorios UNAL, agrupados por áreas OCDE (2019).

FUENTE: HERMES UNAL (2019).

Otro de los retos que presenta la universidad tiene que ver con aprovechar el reconocimiento institucional frente a diferentes actores sociales para el fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación marina para su incorporación en el desarrollo regional y nacional. Según el último reporte del QS World University Rankings de 2021, en el que participan 1.300 universidades del mundo, la UNAL ocupó el puesto 258 a nivel mundial, básicamente por la reputación que le ha dado la academia y los empleadores donde se presenta la institución como saludable

y resulta importante para la relación entre universidad-empresa-estado-comunidad que busca establecer (Figura 20.4). Relaciones de la universidad con entidades y organizaciones como la COI (Comisión Oceanográfica Intergubernamental de UNESCO), la CCO (Comisión Colombiana del Océano), CEMARIN (Corporación Centro de Excelencia en Ciencias del Mar), la Red de Centros de Investigación Marina, COTECMAR (Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial Marina), la Red Colombiana de Estuarios y Manglares, la Red ANCA-IOCARIBE (Algas Nocivas del Caribe) (<http://iocaribe.ioc-unesco.org/>), definen el capital relacional de la Universidad, permitiendo ocupar tan buenos puestos en el escalafón.



Posicionamiento de la UNAL en el QS World University Rankings

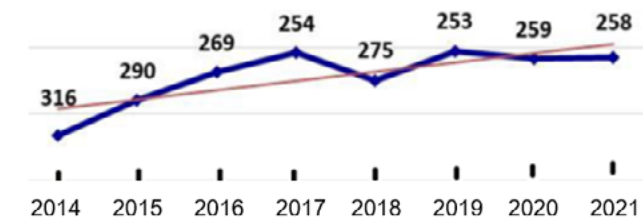


FIGURA 20.4. Resultados 2021.

FUENTE: QS WORLD UNIVERSITY RANKINGS.

La Universidad como actor de Ciencia, Tecnología e Innovación

En la gestión del conocimiento, la Universidad Nacional de Colombia es un actor reconocido a nivel nacional e internacional. En el ámbito nacional, participa activamente de planes, programas y proyectos relacionados con las ciencias del mar. En este ámbito, uno de los retos está relacionado con el apoyo para la implementación de la actual política del océano (documento CONPES-3990), la cual busca posicionar en la agenda pública nacional el océano como factor de desarrollo sostenible en los próximos 11 años. A nivel internacional, la puesta va de la mano con las Naciones Unidas en la década de las ciencias del mar, apuntando al objetivo 14 de desarrollo sostenible. Para el desarrollo de estos objetivos, el principal reto que tienen las instituciones es el empoderamiento de la juventud, a la cual se le anima a ser parte del desarrollo científico por medio de incentivos económicos como lo son el programa de Jóvenes Investigadores, y proyectos nuevos generados con ayuda de académicos como es el caso de “Juventud Océano - Nuevas Voces, Fuerte Eco” (<https://investigacion.unal.edu.co/juventud-oceano/>).

CAPÍTULO 21



RETOS PARA LA UNIVERSIDAD NACIONAL EN CIENCIAS DEL MAR - SEDE PALMIRA

► Guillermo Duque

Profesor Titular, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira
gduquen@unal.edu.co

Considerada como una de las cuatro sedes andinas, y con 87 años de antigüedad, la sede Palmira se ha vinculado en el presente milenio al estudio de las ciencias del mar. Cuenta con dos facultades: la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA) y la Facultad de Ingeniería y Administración (FIA), en las que se ofrecen pregrados en ingeniería ambiental, ingeniería agroindustrial, ingeniería agrícola, ingeniería agronómica, administración de empresas, diseño industrial y zootecnia. Algunos egresados de estas carreras han seguido posgrados en Ciencias del Mar y en Biología Marina. Adicionalmente, la sede Palmira, cuenta con posgrados (maestrías y doctorados) que tienen líneas afines a las ciencias del mar, por lo cual varios estudiantes han hecho sus tesis en temas marinos. A nivel de población estudiantil, esta sede cuenta con más de 2.500 estudiantes de pregrado y posgrado. Con respecto a los grupos de investigación, la sede Palmira cuenta con 34 grupos reconocidos por Minciencias, de los cuales 18 hacen parte de la FIA y dentro de esta última fracción, dos se relacionan directamente con el estudio de las ciencias del mar.

El grupo de Ecología y Contaminación Acuática presenta tres líneas de investigación: Ecología y monitoreo de ecosistemas, contaminación e

impactos ambientales en ecosistemas y uso sostenible y conservación de ecosistemas. Cada una de estas líneas permite a estudiantes de pregrado y de postgrado vincularse al estudio de las ciencias del mar. A partir del interés generado, se creó un semillero de investigación denominado “monitoreo, impactos ambientales y uso sostenible de ecosistemas acuáticos, que actualmente cuenta con un posdoctorado, dos estudiantes de doctorado, nueve estudiantes de maestría y diez estudiantes de pregrado.

Retos de la Sede Palmira

Debido a la infraestructura que se tiene actualmente en el suroccidente del país, los alcances de conocimiento en comparación al Caribe colombiano, son muy limitados y escasos en el Pacífico, por lo que uno de los principales retos que representan los estudios en dichas aguas es el limitado acceso al mar, ya que, por carretera solo es posible ingresar por Tumaco y Buenaventura. El otro acceso es mediante transporte aéreo o marítimo que aumenta considerablemente los costos y complica la logística de los estudios. Sumado a esto, se asume que las aguas del Pacífico se encuentra en un “mejor” estado en cuanto abundancia de organismos marinos e impactos antropogénicos en los ecosistemas, lo cual se convierte en un paradigma que justifica la sobreexplotación y el abandono desde diferentes frentes de acción como lo es el social, de inversión, conservación e investigación. Por lo que otro de los retos que se plantea la sede, es que más grupos de investigación se enfoquen en la solución de problemas sociales y científicos de las regiones costeras y marinas del Pacífico. Esto por medio del fortalecimiento de estrategias entre sedes de la Universidad, para que no solamente se hagan esfuerzos puntuales, si no que respondan a una política de Universidad, aumentando el apoyo a proyectos de la región Pacífico. Para la solución de dicho problema, se plantea gestionar recursos nacionales e internacionales con el fin de permitir el desarrollo de la región Pacífica, incluyendo el conocimiento de su diversidad, mejorado su producción sostenible y generando bienestar social a las comunidades costeras.

CAPÍTULO 22



RETOS EN CIENCIAS DEL MAR - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE CARIBE

Adriana Santos-Martínez

Directora de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe

asantosma@unal.edu.co

La importancia del mar en Colombia no solo radica en su amplia extensión, la cual represente cerca del 45% del territorio nacional, sino en el hecho, que en conjunto con su parte terrestre (55%), el país está en los primeros puestos a nivel mundial por ser megadiverso, dada su alta riqueza en biodiversidad, aunada a la riqueza hídrica (Figura 22.1). Pero también Colombia es un país pluriétnico y multicultural con una gran riqueza en aspectos socioculturales, lingüísticos, artísticos, gastronómicos, arquitectónicos, entre otros, lo que demanda un enorme reto con relación al trabajo que se debe promover y realizar en sus territorios para conservación y desarrollo sustentable entre la base natural y social. Este reto es un compromiso que lo ha asumido la Universidad Nacional de Colombia desde su fundación, por lo que los procesos académicos se han construido por cerca de 150 años, y se han enmarcado en cumplir con excelencia y calidad sus fines institucionales, descritos en el Decreto 1210 del Ministerio de Educación Nacional (1993).



FIGURA 22.1. Mapa Colombia territorios marinos y terrestres.

FUENTE: IGAC (2022).

Dentro del contexto de la región Caribe, y teniendo como referencia lo planteado, la Universidad se ha comprometido de forma más significativa en las últimas décadas con las ciencias del mar y como una de las acciones más significativas en el país hace 27 años, se hizo la creación en 1995, del Instituto de Estudios Caribeños, con sede en San Andrés, Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Posteriormente en 1997 se hizo la creación de la séptima sede, de nueve (antes sedes Bogotá, Medellín, Manizales, Palmira, Amazonía, Orinoquia; después Tumaco y La Paz) denominada inicialmente San Andrés y hoy Sede Caribe (UNAL, 1997). Esta Sede, que cumplió 25 años, cuenta con la unidad académica Instituto de Estudios Caribeños (IEC), el Jardín Botánico (ambas unidades en la isla de San Andrés en el Caribe insular colombiano), y el Instituto de Estudios en

Ciencias del Mar (CECIMAR) en Santa Marta (Caribe continental colombiano). Estas tres unidades constituyen la Sede Caribe de la Universidad, cuyo propósito es desarrollar programas académicos desde las tres funciones misionales docencia, investigación y extensión en el territorio Caribe colombiano e integrando apuestas a la macrorregión Gran Caribe (Figura 22.2).

El Gran Caribe es una macrorregión ambiental que está conformada por 35 países y territorios con los cuales, 24 son países (14 insulares y 10 continentales) y los otros 11 son territorios de ultramar, unidades de gobierno o estados libres, de Reino Unido, Francia, Holanda y Estados Unidos (Burke y Maidens, 2005), en donde Colombia limita oficialmente con ocho estados, pero con dinámicas sociales y prácticas culturales en toda la región, producto de la interacción natural regida principalmente por la conectividad marítima, pero que conlleva de forma indirecta a tener una relación activa con las naciones también en el plano económico y político (Figura 22.2). Todo esto es parte de las estructuras y procesos que han sido sujeto y objeto de estudio en la Sede Caribe, como un referente para ampliar la dimensión del maritorio Caribe nacional.

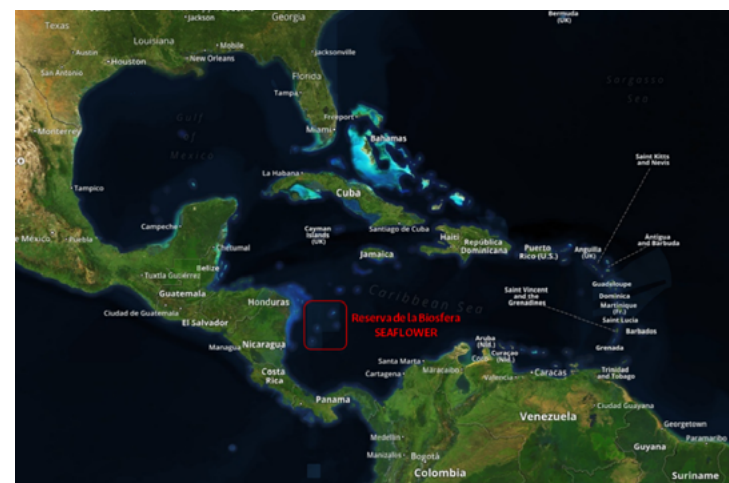


FIGURA 22.2. Mapa macrorregión Gran Caribe; en rojo se marca el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina - reserva de biosfera Seaflower.

FUENTE: UNEP-WCMC Y IUCN (2020).

La Sede Caribe mediante sus unidades académicas se ha dedicado con trabajo académico interdisciplinario, a varias ciencias y áreas del conocimiento, incluidas las artes y la tecnología, pero con avances destacados en ciencias naturales, humanas, económicas y políticas. Gran parte de las actividades en formación, investigación y extensión desarrolladas se llevan a cabo principalmente desde el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, el cual es una Reserva de Biosfera denominada Seaflower; categoría conferida por la UNESCO en el año 2000, gracias a la diversidad natural, social y potencial económico y la posibilidad de ser un modelo en conservación, desarrollo humano y modelo de manejo (Santos-Martínez *et al.*, 2009). Así mismo en el Caribe continental colombiano los aportes se han dado en gran medida en el área de biología marina, e incluyen significativos avances a nivel de investigación de alto nivel, gracias al convenio entre la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, en donde están ubicado el CECIMAR, acuerdo que tiene más de cuatro décadas continuas de labores. El área de Santa Marta también posee valiosas reservas de biosfera, sitios Ramsar, santuarios, parques nacionales y áreas de gran valor natural y socioeconómicas, como el Sierra Nevada de Santa Marta, Santuario de flora y fauna Ciénaga Grande de Santa Marta, Parques Tayrona e Isla de Salamanca, en los cuales se han hecho aportes al conocimiento mediante investigaciones y trabajos de pregrado y tesis de postgrado.

El compromiso de la Universidad Nacional de Colombia es manifiesto por el territorio Caribe y ha estado dado por la reconfiguración de la planta docente y administrativa, y la redistribución de los recursos del nivel nacional, como es el caso de las otras tres sedes de fronteras o presencia nacional como han sido denominadas la Sede Amazonía, Orinoquia y Tumaco, ya que éstas no recibieron recursos adicionales del nivel nacional para su creación, a diferencia de la Sede la Paz en el Cesar, la cual cuenta con recursos específicos y adicionales al presupuesto de la Universidad. Por lo tanto, la Sede Caribe cuenta con un equipo humano comprometido con la educación superior al más alto nivel, que lo conforman once docentes con título de doctorado y de

tiempo completo, diez docentes ocasionales y tutores, ocho administrativos de planta, estudiantes de pregrado y postgrados y cerca de 60 contratistas que apoyan la administración, la investigación y la extensión. También contamos con espacios bien dotados de los equipos, ayudas y materiales para nuestra labor, incluidos salones, aula máxima, cinco laboratorios (Húmedo, Biología y Química, Microscopía y Herbario y en CECIMAR -Ciencias Naturales), biblioteca, salas de trabajo y espacios abiertos de trabajo, así como las dependencias de administración y gestión. Tanto el talento humano como las distintas dependencias funcionan bajo políticas y esquemas de procesos en Sistemas Integrados de Gestión de Calidad, entre lo académico, administrativo y lo ambiental, que conlleva a la articulación institucional.

Entre las actividades de formación, el pregrado se desarrolla bajo la modalidad de un programa especial, diseñado para las sedes de presencia nacional, el cual en el caso del Departamento Archipiélago de San Andrés es exclusivo para los bachilleres raizales e isleños, llamado Programa Especial de Admisión y Movilidad (PEAMA), y ofrece 50 carreras de las áreas de Ciencias, Ingenierías, Ciencias Agropecuarias, Ciencias Económicas, Ciencias Humanas, Ciencias de la Salud y Artes, con 40 a 70 cupos en total por semestre. En este programa los estudiantes cursan dos semestres en la Sede Caribe y luego se movilizan a las sedes andinas (Bogotá, Medellín, Manizales o Palmira), según cada uno haya seleccionado el programa, para continuar su tercer semestre, con la propuesta de regresar a la Sede Caribe a terminar su trabajo de grado, pasantía o hacer alguna profundización y cerrar sus estudios de pregrado. Del pregrado se han graduado 97 estudiantes del Archipiélago de diferentes carreras y cerca de 250 jóvenes están en movilidad, lo que representa un valioso aporte de profesionales a la región y una gran contribución para cerrar la brecha en formación al más alto nivel de calidad y equidad con las islas.

En postgrado la Sede Caribe cuenta en la línea biología marina con el doctorado biología (seis graduados) y maestría en biología (30 graduados), y maestría y especialización en estudios del Caribe (48 maestría y tres especialización gradua-

dos). Pero en acuerdos con otras sedes de la Universidad como Bogotá, Medellín y Manizales se han ofrecido otros once postgrados a nivel de especialización y maestría en áreas como derecho, medio ambiente, ciencias, lingüística, ingenierías, administración, de los cuales se han graduado 187 profesionales en temas del Caribe.

En materia de investigación y conservación del maritorio nacional, la Sede cuenta con cuatro grupos de investigación reconocidos de manera interna y nacional entre los cuales se encuentran: 1) Fauna Marina Colombiana, 2) Estudios Ambientales del Caribe, 3) Estado y Sociedad del Caribe, y 4) Nación, Región y Relaciones Internacionales en el Caribe y América Latina, que han aportado con sus integrantes profesores, estudiantes, egresados y contratistas una producción científica amplia del orden de 60 productos al año. Así mismo se ha logrado articular acciones entre extensión - investigación - formación, para participar con entidades locales, nacionales e internacionales bajo otras formas de unión académica como lo es el Centro de Pensamiento del Gran Caribe, el Observatorio de Procesos Sociales (ORMET) y el Observatorio de Procesos Sociales del Gran Caribe, que abordan temas interdisciplinarios importantes en el desarrollo y en las políticas de la región, como turismo, educación ambiental, gestión de riesgo, vivienda y patrimonio, relaciones internacionales, empleo, género y violencia, entre otros.

Un balance general de cómo hemos abordado los retos en la región Caribe han sido plasmados en las publicaciones y producción interdisciplinaria, fruto del trabajo académico, con 72 libros, 25 números de la Revista Cuadernos del Caribe, más de 500 artículos científicos, 280 tesis de postgrado y 260 trabajos de pregrado, así como en series de videos, cátedras, eventos y diversas actividades de extensión a diversos niveles (40 en promedio al año).

Propuestas para continuar avanzando en la UNAL: Nuevos retos en las ciencias del mar para el país.

Desde la Sede Caribe nos hemos comprometido con incorporar la dimensión Caribe a la nación y por ello hemos planteado que el reconocimiento

hacia el maritorio nacional no solo tiene que hacerse desde el enfoque biológico o económico, sino que también hay que hacer otros enfoques importantes desde los aspectos social, cultural, artístico, arquitectónico, ingenieril, químico, físico, geológico y en salud, por citar algunas áreas del conocimiento (Santos-Martínez, 1997), para tener más de un punto de vista frente a preguntas, cuestionamientos y las lecciones que se tienen, los abordajes que se requieren, las valoraciones que faltan, el uso y protección que se debería hacer, la reparación y compensación a los habitantes y el territorio. Por lo que hemos realizado acciones que han surgido desde los ejercicios prospectivos realizados, como la importancia de una mayor integración al interior de la Universidad, como se describe en la Figura 22.3, para articular y fortalecer las ciencias del mar, en el modelo intersedes, de tal manera que logremos bajo un Centro de Excelencia Intersedes en ciencias del mar, hacer una mejor sinergia con apuestas concretas en el Plan Estratégico Institucional (Plei) de la UNAL al 2034, así como con las distintas instancias nacionales e internacionales, aportando al país de una forma más efectiva.



FIGURA 22.3. Propuesta para seguir avanzando en las Ciencias del Mar en la UNAL.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Como lo describimos en la Cátedra Colombia bioazul (Figura 22.4), la comunidad académica especializada en ciencias del mar al interior de la Universidad (grupos de investigación el 3,9% e investigadores 6%) y en el país es una minoría, que se demuestra con el poco número de profesores, investigadores, grupos, carreras y centros especializados. Por ello parte de los retos interseeds en Ciencias del Mar son acciones académicas más activas y continuas en donde se pueda aumentar esa masa crítica de profesionales y crear nodos, como lo propusimos al INVEMAR y otras entidades, el Parque Científico y Tecnológico en Ciencias del Mar, integrando el Estado (otras universidades de la región Caribe), la industria (que es muy poca, pero que se debe promover su conformación) y la comunidad (integrando los saberes y demandas de conocimiento).



FIGURA 22.4. Grupos de investigación e investigadores por sede con incidencia en Ciencias del Mar en la UNAL.

FUENTE: CITADAS EN LA FIGURA.

Otros restos que hemos asumido como Sede Caribe y Universidad en su conjunto, es promover la creación de un pregrado interseeds en Ciencias del Mar - Oceanología, incrementar los postgrados con énfasis en ciencias del mar, continuar

las cátedras Pensamiento Caribe y Colombia Bioazul, incrementar el número de profesores e investigadores con más sinergias nacionales e internaciones, sumar a las acciones nacionales de la Misión de Sabios e internacionales de la Naciones Unidas la Década de los Océanos. Son muchos los problemas del mar y los cambios a diversos niveles ambientales que ya tenemos y los que se vienen y debemos responder y estar prestos como academia para aprender y aportar de forma integral.

REFERENCIAS

BURKE, L. Y MAIDENS, J. (2005). *Arrecifes en peligro en el Caribe*. World Resources Institute, Washington, 80 p.

SANTOS-MARTÍNEZ, A., Hinojosa, S. y Sierra-Rozo, O. (2009). *Proceso y avance hacia la sostenibilidad ambiental: La Reserva de la Biosfera Seaflower, en el Caribe colombiano*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe. Cuadernos de Caribe 13: 7-23.

SANTOS-MARTÍNEZ, A. (2017). *Con sabor Caribe*. Revista Semana Edición Especial Sesquicentenario Universidad Nacional de Colombia No 2: 54-55.

UNAL. (1997). Consejo Superior Universitario, Acuerdo 6 DE 1997, Acta 2 del 30 de enero, Por el cual se establece la Sede de San Andrés de la Universidad Nacional de Colombia. http://www.legal.unal.edu.co/rlunal/home/doc.jsp?d_i=39054. 10/11/2021

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. (1993). Decreto 1210 de 1993, del 28 de junio, Reestructura el Régimen Orgánico Especial de la Universidad Nacional de Colombia. http://www.legal.unal.edu.co/rlunal/home/doc.jsp?d_i=34144. 10/11/2021

UNEP-WCMC Y IUCN. (2020). *Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA)*, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA> 15/06/2020.

ÍNDICE ANALÍTICO

A

ACUICULTURA

26, 27, 35, 55, 154, 159, 160, 162, 175, 176, 177, 178, 179, 211, 215, 233, 294, 298

ANTÁRTICA

73, 74, 78, 79, 80, 236, 325, 326, 328, 329

ARRECIFES

97, 98, 117, 222, 227, 239, 240, 245, 251, 349

ATLÁNTICO

38, 39, 40, 61, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 95, 239, 243, 244, 247, 264

B

BIODIVERSIDAD

22, 23, 24, 25, 26, 27, 33, 36, 50, 88, 95, 96, 97, 99, 101, 162, 169, 170, 189, 217, 226, 233, 251, 253, 255, 256, 263, 264, 266, 267, 268, 271, 291, 321, 341

BUENAVENTURA

108, 110, 112, 181, 183, 185, 188, 209, 221, 222, 223, 225, 226, 245, 250, 340

C

CALENTAMIENTO GLOBAL

169, 197, 317

CAMBIO CLIMÁTICO

23, 45, 57, 89, 94, 99, 159, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 196, 206, 234

CARIBE

17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 38, 45, 47, 48, 77, 89, 96, 98, 99, 101, 107, 108, 109, 110, 111, 114, 116, 117, 121, 140, 151, 152, 153, 154, 183, 184, 190, 206, 209, 210, 211, 212, 214, 217, 222, 227, 236, 239, 240, 241, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 250, 252, 263, 264, 265, 268, 271, 273, 274, 277, 280, 281, 282, 284, 285, 292, 296, 308, 315, 317, 319, 333, 334, 335, 337, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 348, 349

CARTAGENA

108, 183, 184, 189, 212, 240, 243, 273, 284, 285

CIENCIAS DEL MAR

17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 45, 121, 205, 221, 226, 227, 228, 234, 247, 271, 318, 331, 333, 335, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 346, 347, 348

CLIMA

24, 32, 39, 61, 62, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 78, 79, 80, 83, 89, 169, 170, 196, 325

CONTAMINACIÓN

25, 26, 32, 93, 96, 97, 103, 105, 107, 112, 113, 115, 118, 121, 122, 124, 125, 134, 135, 138, 139, 140, 174, 189, 339

CRUSTÁCEOS

134, 162, 167, 227, 262, 271, 272, 273, 274, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 285

CULTIVOS

169, 199, 295, 304, 305, 307

D

DÉCADA DE LOS OCÉANOS

31, 32, 35, 36, 37, 38, 50, 54, 349

E

EDUCACIÓN

23, 26, 27, 37, 39, 43, 44, 45, 46, 50, 53, 58, 117, 231, 232, 233, 234, 237, 318, 331, 341, 344, 346, 349

EFFECTO INVERNADERO

62, 169, 170, 171, 196, 197, 198, 200

ENERGÍA MARINA

24, 193, 205, 206, 207, 208, 213, 214

ESPECIES MARINAS

33, 97, 98, 170, 171, 257, 260, 261, 262, 263, 264, 266

ESPONJA

98, 294, 295, 296, 297, 299, 300, 302

EVENTOS NATURALES EXTREMOS

105, 115

EXPEDICIONES CIENTÍFICAS

241, 315, 316, 317, 318, 327, 328

F

FICOLOGÍA

239, 245

G

GENES

97, 98, 301, 305

H

HIDROCARBUROS

93, 104, 107, 194, 195, 198, 206, 215, 216, 218, 236

L

LA GUAJIRA

73, 214, 241, 244, 248

LITORAL

166, 167, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 221, 223, 224, 226, 252, 317

M

MANEJO PESQUERO

101, 143, 148, 149, 150, 151, 153, 155, 325

MANGLAR

88, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 173, 185, 188, 244, 250

MARICULTURA

236, 295, 297, 299

METALES PESADOS

93, 121, 122, 125, 127, 129, 132, 140

MISIÓN DE SABIOS

43, 44, 46, 48, 54, 56, 58, 237, 349

O

OCEANOGRAFÍA

20, 24, 209, 215, 216, 335

OXÍGENO

62, 89, 124, 127, 295

P

PACÍFICO

38, 46, 47, 48, 56, 61, 72, 73, 74, 78, 89, 107, 108, 109, 110, 111, 114, 151, 153, 154, 159, 161, 162, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 209, 210, 212, 213, 214, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 236, 239, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251, 252, 283, 315, 317, 319, 324, 333, 340

PASTOS MARINOS

24, 92, 98, 117, 239, 260, 262

PECES

25, 26, 27, 55, 92, 97, 105, 110, 111, 112, 133, 160, 162, 165, 167, 169, 171, 172, 177, 226, 227, 240, 245, 262, 265, 277

PESCA

23, 39, 41, 55, 92, 93, 97, 111, 135, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 151, 154, 155, 156, 159, 160, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 179, 189, 239, 247, 322

PESCA ARTESANAL

143, 146, 147, 148, 151, 159, 163, 164, 165, 170

pH

127, 128, 129, 130, 132, 272, 295

PLANCTON

273, 277, 280

PLÁSTICO

103, 104, 105, 106, 112, 113, 116, 117

PLAYA

109, 110, 112, 113, 222

PRODUCTOS NATURALES

24, 25, 98, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 295, 296, 299, 301, 302, 303, 304, 305, 306

R

RECURSOS GENÉTICOS

98

RÍO MAGDALENA

183, 212, 213

S

SALINIDAD

63, 75, 98, 127, 212, 216, 222, 250, 295

SAN ANDRÉS

28, 45, 46, 101, 106, 112, 210, 211, 214, 216, 217, 240, 241, 242, 243, 244, 247, 249, 250, 251, 316, 323, 334, 342, 343, 344, 345, 349

SANTA MARTA

21, 22, 28, 108, 109, 112, 113, 118, 119, 128, 183, 210, 214, 240, 247, 248, 251, 279, 285, 333, 334, 343, 344

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

17, 87, 88, 89, 97, 99, 316

T

TAXONOMÍA

23, 248, 292

TEMPERATURA

62, 63, 68, 70, 72, 73, 75, 77, 79, 80, 81, 98, 137, 169, 170, 171, 174, 176, 196, 197, 198, 200, 210, 215, 216, 217, 222, 229, 258, 295, 306, 325

TUMACO

17, 28, 108, 110, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 181, 183, 185, 188, 221, 222, 223, 245, 249, 333, 340, 342, 344

TURISMO

23, 34, 35, 41, 96, 109, 112, 113, 346

Z

ZONA COSTERA

38, 90, 96, 98, 115, 171, 174

.....
COLOMBIA BIOAZUL: DOS MARES, UN PAÍS;

TERRITORIOS POR EXPLORAR.

CÁTEDRA NACIONAL

**Instituto de Estudios
en Ciencias del Mar
Universidad Nacional
de Colombia - Sede Caribe**

Esta edición consta de 150 ejemplares.

Se diseñó y diagramó en

Oficina de Comunicación Estratégica - Unimedios

Se imprimió en marzo de

2023 en SION Digital

En su composición

se utilizó la familia tipográfica

Ancizar Sans. Serif y Stencil de 11 y 17 pts.

Formato 16.5 x 24 centímetros.

Su cubierta va en propalcote de 240 gr. y las
páginas interiores en bond beige de 75 gr.

