



Ambiente

Programa Nacional de
**MONITOREO
DEL RECURSO
HÍDRICO**

Bogotá D.C., 2024



Ambiente

Programa Nacional de
**MONITOREO
DEL RECURSO
HÍDRICO**

Bogotá D.C., 2024



Ambiente

REPÚBLICA DE COLOMBIA
GUSTAVO FRANCISCO PETRO URREGO
Presidente

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

MARÍA SUSANA MUHAMAD GONZÁLEZ
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAURICIO CABRERA LEAL
Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental

DIRECCIÓN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RECURSO HÍDRICO
OSCAR FRANCISCO PUERTA LUCHINI
Director de Gestión Integral de Recurso Hídrico
DAVID ROMÁN CHAVERRA
Profesional Especializado Grupo de Fortalecimiento y Gobernanza del Agua
BORIS JOSÉ LORA ARIZA
Profesional Temático - Grupo de Fortalecimiento y Gobernanza del Agua
JERSON VILLARREAL RUIZ
Profesional Temático - Grupo de Fortalecimiento y Gobernanza del Agua

DIRECCIÓN DE ASUNTOS MARINOS, COSTEROS Y RECURSOS ACUÁTICOS
XIMENA ROJAS GIRALDO
Directora de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos
Colaboradores – Profesionales temáticos
Jorge Augusto Acosta Rivera.
Ana Marlene Arriaga

COORDINACIÓN TÉCNICA Y TEXTOS

Minambiente

A.A., M.Sc. David Román Chaverra
(supervisión, conceptualización, redacción y edición textos, tablas e imágenes)

Ideam

Geól., Esp. Nelsón Omar Vargas Martínez
(conceptualización, metodología y análisis)

Unal

I.C., M.Sc. Carlos Eduardo Cubillos (redacción textos)
I.C., M.Sc. Martha García Herrán (redacción textos)
Ing. Juan Manuel Ramírez (redacción textos)
I.C., Esp. Otoniel Niño Piña (compilador)
Silvia Aguirre (edición cartográfica)

Cartografía: IDEAM, INVEMAR

Corrección de estilo MinAmbiente

Grupo de divulgación de conocimiento: Ingrid Téllez Zamudio

Diseño y diagramación MinAmbiente

Grupo de Comunicaciones: José Roberto Arango R.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM

GHISLIANE ECHEVERRY PRIETO
Directora General
FABIO BERNAL QUIROGA
Subdirector de Hidrología

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – SEDE BOGOTÁ

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Colaboradores - Profesionales temáticos
GEÓL. NELSY CAROLINA OTÁLORA V.
Profesional línea temática: Aguas subterráneas
BIOL. LAURA GARCÍA RIVAS
Profesional línea temática: Bioindicación
I.Q. DIANA MARCELA MUÑOZ
Profesional línea temática: Calidad del agua
I.C. DANIEL FERNANDO SANABRIA B.
Profesional línea temática: Humedales
I.C. CÉSAR CHAVES GÓMEZ
Profesional línea temática: Sedimentos
SILVIA AGUIRRE
Profesional en Sistemas de Información Geográfica
PAULA SOLARTE BLANDÓN
LEONARDO ALBORNOZ VILLARRAGA
Línea temática: Agua superficial

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS “JOSÉ BENITO VIVES DE ANDRÉS”-INVEMAR

FRANCISCO A. ARIAS ISAZA
Director General
JESÚS ANTONIO GARAY TINOCO
Subdirector Coordinación Científica (SCI)
LUISA FERNANDA ESPINOSA
Coordinadora
Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)
PAULA CRISTINA SIERRA CORREA
Coordinadora
Coordinación de Investigación e Información para Gestión Marina y Costera (GEZ)
Colaboradores - Profesionales temáticos
LIZBETH JANET VIVAS AGUAS
Jefe Línea de Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros – PEM
MÓNICA ROCÍO BAYONA ARENAS
Jefe Línea de Evaluación y Seguimiento de la Calidad Ambiental Marina. CAM
JULIÁN JOSÉ PIZARRO PERTUZ
Jefe de Laboratorio Servicios de Información
JULIO BOHÓRQUEZ NARAN
Investigador Científico
CAROLINA GARCÍA VALENCIA
Investigadora Científica

Catalogación en Publicación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

Programa nacional de monitoreo del recurso hídrico [recurso electrónico] / Minambiente: Román-Chaverra, David (redacción/edición); Lora-Ariza, Boris (redacción/edición); Ideam: Vargas M., Omar (edición); Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería: Cubillos, Carlos E. (redacción); García H., Martha (redacción); Ramírez, Juan Manuel (redacción); Niño P., Otoniel (compilador); Aguirre, Silvia (edición cartográfica)

Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023.
100 p.

ISBN: 978-628-7598-24-9

1. Política ambiental 2. Instrumentos de política 3. Recurso hídrico 4. Monitoreo ambiental
5. Planeación ambiental I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
III. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

CDD: **333.91** CO_BoCDM

Catalogación en la publicación – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental - Biblioteca.

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

© Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita



AGRADECIMIENTOS

Como parte del proceso de formulación del presente programa, se organizaron dos talleres con entidades del SINA y autoridades ambientales, tres reuniones temáticas con expertos y una reunión de socialización de resultados, eventos en los cuales se debatieron y analizaron aspectos fundamentales para la formulación del Programa nacional de monitoreo del recurso hídrico y permitiendo alcanzar los resultados que aquí se presentan. Agradecemos a todos aquellos que participaron activamente en la realización de los eventos:

Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA	David F. Fajardo Johnatan Reyes Jairo A. Ruíz Sandra Lidia Zambrano
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y Oriente Amazónico – CDA	Lenin Eduardo Riaño Carolina Pérez
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina – Coralina	Tomás Guerrero
Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – Corantioquia	Margarita Piza Jorge Ignacio Gaviria
Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – Cornare	Gloria Q. Iral
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de La Macarena - Cormacarena	William A. Mariño
Corporación Autónoma Regional de Boyacá -Corpoboyacá	Blanca Katherine Gómez Diana Marcela Jiménez Diana Carolina Niño Wilson Ricardo Torres Gustavo A. Vargas
Corporación Autónoma Regional de Chivor – Corpochivor	Robert Noguera Jorge E. Guachetá Ronald Eduardo Ramírez
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR	Hernando Niño Juliana Rodríguez
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC	María Clemencia Sandoval
Corporación Autónoma Regional de La Guajira –Corpoguajira	Julio Curvelo
Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente Barranquilla – Damab	Hernando Carrero
Departamento Nacional de Planeación – DNP	Alexandra Arévalo Diego Rubio
Empresas Públicas de Medellín – EPM	Mauricio Correa
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – IAVH	Úrsula Jaramillo

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam	Ana Karina Campillo Jorge Luis Ceballos Claudia Yaneth Contreras Albeiro Figueroa Claudia L. Garzón Jorge González César Fernando Jiménez Miguel Valenzuela Hernando Wilches
Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann” - IIAP	Lady Vargas
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible –MinAmbiente	Diego Arévalo Juan Sebastián Hernández Suárez Sergio Andrés Salazar Galán Jan Christian Render Nelson Mauricio Anillo Hilda María Palacio Betancur Sandra Marisol Hernández Diana Carolina Callejas Claudia Liliana Buitrago Aguirre Natalia Jiménez Contento Diana Marcela Moreno Barco Lizbeth Gisella Ramírez Ramírez Jorge Augusto Acosta Rivera Julián Robles Raymundo Tamayo
Observatorio Río Bogotá	Plácido Silva Duarte
Secretaría Distrital de Ambiente – SDA	María del Pilar Camacho Luz Ángela Luna Castillo Diana Amarillo
Servicio Geológico Colombiano – SGC	Jaime Alberto Garzón
Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas –Sinchi	Juan Carlos Alonso
Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería	Mario Díaz-Granados Luis Alejandro Camacho
Escuela Colombiana de Ingenieros	Germán Monsalve
Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ingeniería - Sedes Bogotá y Manizales	Jaime Iván Ordoñez Emel Enrique Vega. Martha Cristina Bustos Héctor Manuel García Carolina Tabón Juan David González Valencia Giraldo
Construcciones y Diseños S.A.S.	Carlos Andrés Rogéliz
Mardi Consultores	Andrés L. Malagón
Investigador	Pablo Leyva Franco

CONTENIDO



1

INTRODUCCIÓN 10

MARCO DE REFERENCIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO 17

- 1.1 Lineamientos nacionales de política pública ambiental en el monitoreo del agua 17
- 1.2 Sistema Nacional Ambiental en el monitoreo del agua 20



2

ALCANCE TÉCNICO Y CONCEPTUAL DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO 23

- 2.1 Enfoque conceptual 23
- 2.2 Agua: estudio y generación de conocimiento 27
- 2.3 Monitoreo del Agua 29
- 2.4 Monitoreo marino costero 38
- 2.5 Flujo de la información y sistema de observación, medición y vigilancia 40



3

ANÁLISIS TÉCNICO DEL MONITOREO DEL AGUA EN COLOMBIA 49

- 3.1 Primeras acciones de monitoreo del agua en Colombia 49
- 3.2 Variables monitoreadas en Colombia 51
- 3.3 Herramientas tecnológicas para el monitoreo 71

4



ALCANCE PROGRAMÁTICO DEL MONITOREO NACIONAL DEL RECURSO HÍDRICO	77
4.1 Objetivo general	78
4.2 Objetivos específicos	78
4.3 Visión	78
4.4 Estrategias y sus líneas de acción, actividades, productos, metas e indicadores	78
- Estrategia 1. Consolidación del sistema de Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.	78
- Estrategia 2. Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.	81
- Estrategia 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico	84
- Estrategia 4. Comunicación, difusión y participación en el monitoreo del agua.	88
4.5 Sostenibilidad Financiera	88
4.6 Seguimiento y evaluación del programa	90
4.7 Plan de acción	90
Plan de Acción del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico	91
BIBLIOGRAFÍA	97

FIGURAS

Figura 1.	Sistema Nacional Ambiental	19
Figura 2.	Enfoque y alcance conceptual del monitoreo del recurso hídrico	24
Figura 3.	Ciclo hidrológico.	25
Figura 4.	Enfoques más usados para abordar la generación de conocimiento del agua en Colombia	28
Figura 5.	El Monitoreo del Recurso Hídrico.	31
Figura 6.	El Monitoreo del Recurso Hídrico. Planificación del monitoreo	31
Figura 7.	El monitoreo del recurso hídrico. Definición de objetivos y propósitos de monitoreo.	32
Figura 8.	El monitoreo del recurso hídrico. Parámetros de calidad de agua.	33
Figura 9.	El monitoreo del recurso hídrico. Programas Institucionales Regionales de Monitoreo del Agua-PIRMA.	35
Figura 10.	El monitoreo del recurso hídrico. Diseño de la red de monitoreo.	36
Figura 11.	El monitoreo del recurso hídrico. Apropiación de métodos y procedimientos.	37
Figura 12.	El monitoreo del recurso hídrico. Implementación del monitoreo del agua.	39
Figura 13.	Flujo de la información y acciones del sistema de observación, medición y vigilancia del agua	41
Figura 14.	Redes hidrológicas, meteorológicas y oceanográficas nacional y regionales	43
Figura 15.	Criterios técnicos básicos para la articulación de la red nacional y redes regionales de monitoreo de recurso hídrico para el componente marino.	44
Figura 16.	Ejemplo de estaciones administradas por el IDEAM	51
Figura 17.	Estaciones activas operadas por el IDEAM	52
Figura 18.	Estaciones de la red hidrometeorológica, convencionales y automáticas	53
Figura 19.	Estaciones hidrológicas IDEAM	54
Figura 20.	Estaciones hidrometeorológicas automáticas IDEAM	55
Figura 21.	Requerimientos de información ambiental para autoridades ambientales	57
Figura 22.	Áreas de jurisdicción de autoridades ambientales con red de monitoreo del recurso hídrico.	58
Figura 23.	Red regional. Distribución por categoría de estaciones	59

Figura 24.	Densidad de puntos de la red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas.	61
Figura 25.	Red nacional de isotopía	63
Figura 26.	Red de calidad de agua superficial (IDEAM) y marino costera	64
Figura 27.	Número de estaciones de monitoreo de sedimentos (1970-2009)	60
Figura 28.	Red nacional de monitoreo de sedimentos	67
Figura 29.	Red nacional de monitoreo de aguas marinas y costeras de la REDCAM	68
Figura 30.	Variación del número de estaciones de monitoreo REDCAM por departamento	70
Figura 31.	Plataforma de integración tecnológica propuesta por el IDEAM	72
Figura 32.	Integralidad del Sistema de alertas tempranas	73
Figura 33.	Repotenciación y nuevas estaciones del IDEAM con el Fondo Adaptación	74
Figura 34.	Sistema Nacional de Radares	75

TABLAS

Tabla 1.	Rezago y continuidad según parámetro - Promedio del rezago para todos los estadígrafos y frecuencias de cada parámetro – Sólo incluye estaciones no suspendidas del IDEAM	56
Tabla 2.	Principales usos de la información hidrometeorológica para la toma de decisiones	56
Tabla 3.	Propuesta de rediseño de redes hidrometeorológicas 33 autoridades ambientales	60
Tabla 4.	Red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas	62
Tabla 5.	Comparación entre parámetros biológicos y físico-químicos	65
Tabla 6.	Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la estrategia 1. Consolidación del sistema de observación, medición y vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.	79
Tabla 7.	Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la línea estratégica 2. Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.	82
Tabla 8.	Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la línea estratégica 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico.	85
Tabla 9.	Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la estrategia 4. Comunicación, difusión y participación	89

SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

AAC	Autoridades Ambientales Competentes
ADCP	Medidores de caudal acústicos (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP por sus siglas en inglés)
AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CARDER	Corporación Autónoma Regional de Risaralda
CARDIQUE	Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique
CARSUCRE	Corporación Autónoma Regional de Sucre
CAS	Corporación Autónoma Regional de Santander
CCCP	Centro Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico
CDMB	Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga
CDA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico
CIOH	Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas
CODECHOCÓ	Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó
CORALINA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina
CORMACARENA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de la Macarena
CORNARE	Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare
CORPAMAG	Corporación Autónoma Regional del Magdalena
CORPOAMAZONÍA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía
CORPOBOYACÁ	Corporación Autónoma Regional de Boyacá
CORPOCALDAS	Corporación Autónoma Regional de Caldas
CORPOCESAR	Corporación Autónoma Regional del Cesar
CORPOGUAJIRA	Corporación Autónoma Regional de La Guajira
CORPOGUAVIO	Corporación Autónoma Regional del Guavio
CORPOMOJANA	Corporación para el Desarrollo Sostenible de La Mojana y El San Jorge
CORPONARIÑO	Corporación Autónoma Regional de Nariño
CORPONOR	Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental
CORPORINOQUIA	Corporación Autónoma Regional de la Orinoquia
CORPOURABÁ	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá
CORTOLIMA	Corporación Autónoma Regional del Tolima
CRC	Corporación Autónoma Regional del Cauca
CRA	Corporación Autónoma Regional del Atlántico
CRQ	Corporación Autónoma Regional del Quindío
CSB	Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
CVS	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y el San Jorge
DAGMA	Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali
DAMAB	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Barranquilla
DAMCRA	Dirección de Asuntos Marinos, Costeros y Recursos Acuáticos de MinAmbiente
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DNP	Departamento Nacional de Planeación

ECOPETROL	Empresa Colombiana de Petróleos S. A.
ENA	Estudio Nacional del Agua
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
IIAP	Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico John von Neumann
IAvH	Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt
ICP	Instituto Colombiano del Petróleo
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INGEOMINAS	Instituto Colombiano de Geología y Minería
INS	Instituto Nacional de Salud
INVEMAR	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
MinAgricultura	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MinAmbiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MinTic	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MHC	Modelo Hidrogeológico Conceptual
MinVivienda	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PENIA	Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental
PICIA	Plan Institucional Cuatrienal de Investigación Ambiental
PIRMA	Programas Institucionales/Regionales de Monitoreo del Agua
PNAOCI	Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia
PNCIM	Programa Nacional de Investigación, Evaluación, Prevención, Reducción y Control de Fuentes Terrestres y Marinas de Contaminación al Mar
PNGIRH	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
PNMRH	Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POMCA	Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas
PORH	Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico
REDCAM	Red de monitoreo de la calidad de aguas marinas y costeras
SAT	Sistema de Alertas Tempranas
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SIA	Sistema de Información Ambiental
SIAC	Sistema de Información Ambiental para Colombia
SIAM	Sistema de Información Ambiental Marina
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SIRH	Sistema de Información del Recurso Hídrico
SIWI	Instituto Internacional de Agua de Estocolmo
SNGRD	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
PNNC	Parques Nacionales Naturales de Colombia
WWF	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)



INTRODUCCIÓN

El Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico- PNMRH fue identificado en el proceso de formulación de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico- PNGIRH para dar respuesta a la necesidad de contar con lineamientos para el monitoreo sistemático, coherente y apropiado que dé soporte a la implementación y seguimiento de la política, en conjunto con los demás programas del Plan Hídrico Nacional- PHN.

Este programa está concebido como un instrumento que se implementa para soportar la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, acuíferos, los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia, y para la administración del recurso hídrico, así como para conocer su estado y establecer el impacto que tienen las acciones desarrolladas en el marco de la PNGIRH sobre las fuentes hídricas.

En ese orden de ideas, el PNMRH constituye el marco que orienta e integra estrategias y acciones para mejorar la generación de conocimiento e información para la gestión integral del recurso hídrico en los ámbitos nacional y regional, y es el referente que orienta y define la ruta a seguir para conocer y hacer seguimiento al comportamiento del ciclo del agua en Colombia, en términos de calidad y cantidad, en concordancia con la Política Nacional Ambiental- PNA.

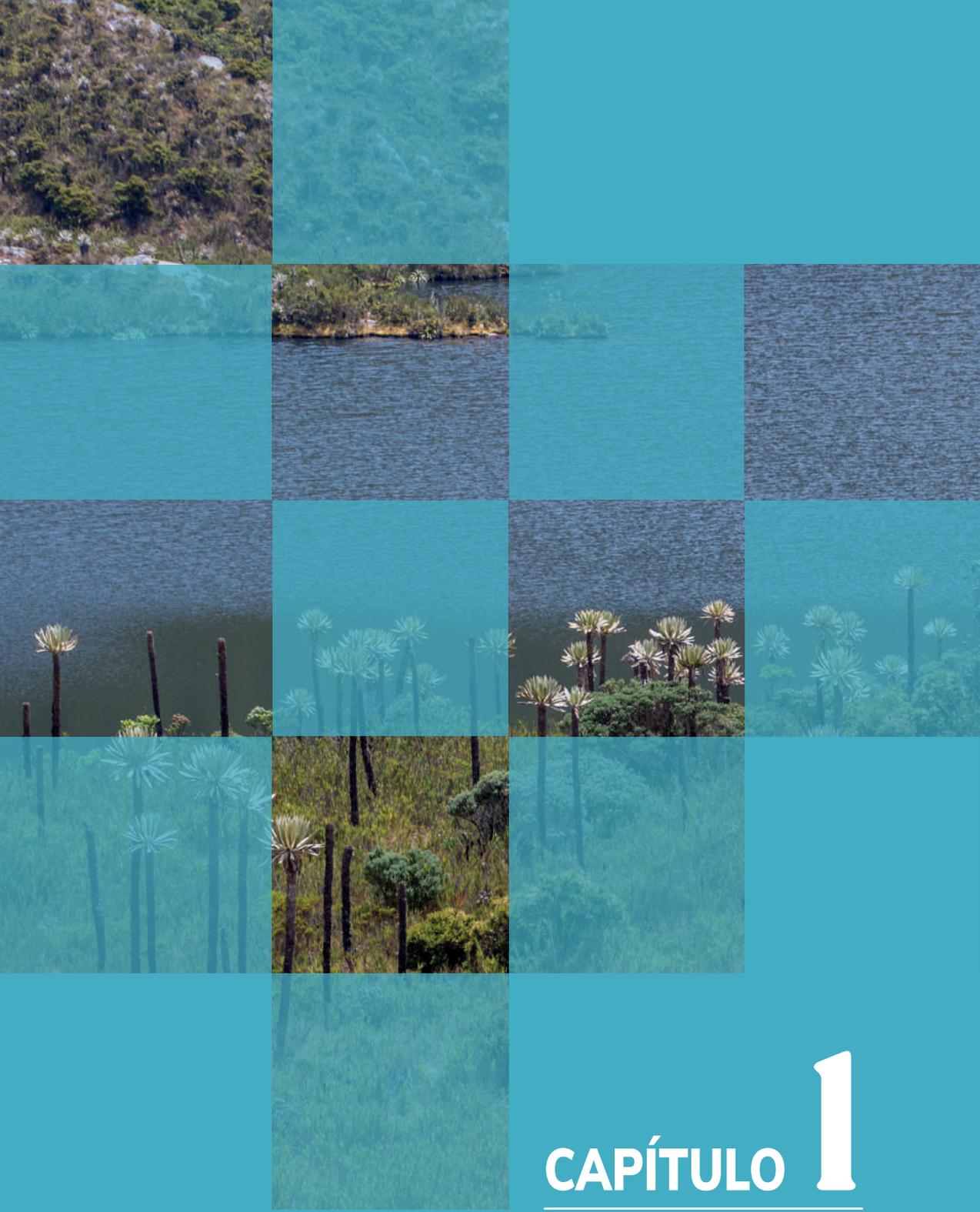
En este documento se abordan los enfoques temáticos definidos como ejes fundamentales en el monitoreo del recurso hídrico (aguas superficiales continentales, marinas y costeras, aguas subterráneas, bioindicación y sedimentos) que deben orientar la evaluación y seguimiento al comportamiento del ciclo del agua en términos de calidad y cantidad, entendido como un ciclo integral que reconoce la interacción y los procesos entre el continente, el océano y la atmósfera. Por ello, también es importante comprender el papel del océano dentro del clima y los ecosistemas oceánicos, identificar los impactos y las vulnerabilidades humanas. Esto permitirá la coordinación de un sistema continuo y a largo plazo de observaciones oceánicas que facilitará la comprensión y la gestión de estos impactos.

En este sentido, toma relevancia el enfoque ecosistémico como una estrategia para la gestión integral del suelo, agua y recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible en una manera equitativa, que sitúa a la población que vive en los ecosistemas y a sus medios de vida en el centro de las decisiones sobre la gestión y la protección, consolidándose como una estrategia que integra las diferentes dimensiones del desarrollo, tomando como eje articulador la gestión

de los ecosistemas, además del fortalecimiento y la inversión en infraestructura natural.

La importancia de la información del recurso hídrico en el marco de la política ambiental del país emerge de tal manera que se hace necesaria la integración de los procesos de investigación, los sistemas de observación, la evaluación y el monitoreo de este recurso natural, de manera que soporten la planificación y administración y toma de decisiones, basadas en conocimiento. Se presentan inicialmente los antecedentes y referentes normativos, institucionales, conceptuales y metodológicos del PNMRH. Además, se plantean sus objetivos y alcances, así como, un diagnóstico del monitoreo del agua que permite definir las líneas estratégicas, metas, indicadores y actividades del programa. Al final del documento, se presenta el contenido programático formulado utilizando la metodología de marco lógico.

El componente programático marino se presentará en un documento específico, correspondiente a la implementación de la estrategia para fortalecer los aspectos técnicos y metodológicos para la evaluación y monitoreo de las aguas marinas y costeras. Este instrumento se desarrollará en coordinación con INVEMAR y las autoridades ambientales competentes.



CAPÍTULO 1

MARCO DE REFERENCIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO

Las principales referencias y antecedentes de soporte del PNMRH son los documentos de política ambiental, su versión inicial, las guías de monitoreo y seguimiento del agua elaboradas por el IDEAM anteriores a 2010 y los documentos de evaluación de capacidades institucionales para el monitoreo del agua y para el fortalecimiento y modernización de las redes de monitoreo.

1.1 Lineamientos nacionales de política pública ambiental en el monitoreo del agua

El PNMRH articula principalmente:

- El monitoreo de servicios ecosistémicos en ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica, de conformidad con la Política Nacional de Gestión Integral de Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos –PNGIBSE (MinAmbiente, 2012)
- La evaluación dispuesta en la Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia- PNHIC (MAVDT, 2002).
- El seguimiento a los impactos y tendencias del recurso hídrico producto del cambio climático en armonía con la Política Nacional de Cambio Climático –PNCC (MinAmbiente, 2017).
- Los objetivos estratégicos de la PNGIRH (MAVDT, 2010)
- Los objetivos de la PNA para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia (MAVDT, 2000).

A continuación, se describe, con mayor detalle, la articulación que existe entre el PNMRH, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y el Plan Hídrico Nacional, la Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia - PNAOCI y el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.

Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y Plan Hídrico Nacional

La formulación del PNMRH fue concebido originalmente para el conocimiento la calidad del agua solamente. Sin embargo, un análisis del impacto del programa mostró la importancia de incluir

el conocimiento de la oferta y demanda hídrica. Además, el monitoreo contribuye en la gestión del riesgo de desastres y facilita la democratización de la información del agua necesaria para el fortalecimiento institucional y la gobernanza del agua.

Por lo anterior, el Plan Hídrico Nacional PHN amplió el alcance del PNMRH, considerando procesos de formación, investigación y gestión de la información asociada al agua, así como al diseño e implementación de protocolos y guías, y al establecimiento de criterios y estándares de calidad del recurso hídrico, definidos en la PNGIRH.

Inicialmente se consideró que las zonas hidrográficas constituían las unidades básicas del PNMRH. Sin embargo, el análisis del impacto realizado indicó que se requería incluir el monitoreo a escala, tanto regional como local, en articulación con la red nacional de referencia o red básica nacional, conforme la estructura de planificación hidrográfica definida a partir de la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia.

La PNAOCI propende por el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y de las zonas costeras; además, busca contribuir, mediante su manejo integrado, al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana, al desarrollo armónico de las actividades productivas y a la conservación y preservación de los ecosistemas y recursos marinos y costeros. Para alcanzar estos propósitos, la PNAOCI estableció dentro de sus objetivos específicos el proporcionar un ambiente marino y costero sano que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de la población. Este objetivo está estrechamente relacionado con el monitoreo de la calidad del recurso hídrico.

Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 “Colombia, potencia mundial de la vida”.

El ordenamiento del territorio alrededor del agua es la primera transformación establecida en las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.

Esta primera transformación facilitará una mejor distribución de los beneficios derivados de la conservación y el respeto por el agua y los ecosistemas, lo cual llevará a Colombia a ser un territorio mejor adaptado al cambio climático, con provisión de beneficios necesarios para el bienestar de la población y de una economía próspera. Para lograr las metas en ordenamiento territorial a partir de lo dispuesto en el PND, se establecieron, entre otros, los siguientes catalizadores que requieren, de manera estratégica, la generación de conocimiento y monitoreo integral del agua:

- Catalizador 1. Justicia ambiental y gobernanza inclusiva: democratizará la información ambiental y se mejorará la gestión del riesgo de desastres mediante la implementación de la estrategia de consolidación del Sistema de In-

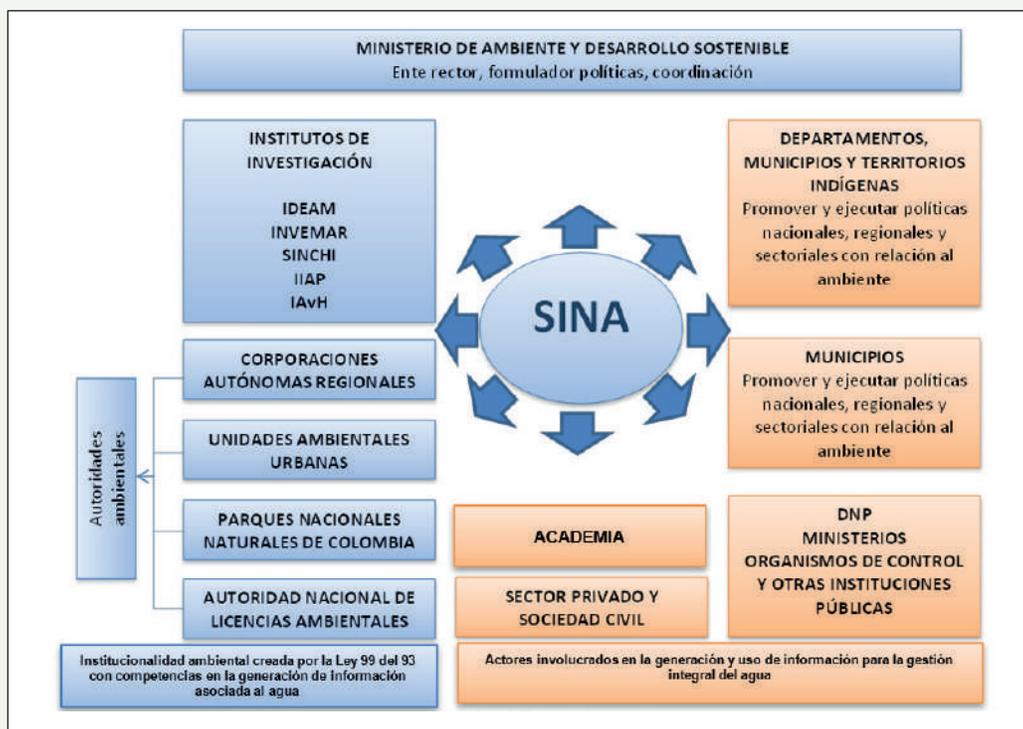
formación Ambiental Colombiano (SIAC). Implementará el Sistema Nacional de Monitoreo Ambiental para la prevención de los riesgos climáticos, el acceso y el uso libre a la información de manera oportuna, transparente, comprensible y adecuada, que permita la toma de decisiones informadas de los actores locales.

- Catalizador 2. El agua, la biodiversidad y las personas en el centro del ordenamiento territorial: se actualizará la política de gestión integral del recurso hídrico alrededor de cuatro dimensiones:
 - Oferta: incluye la protección de páramos y humedales, la conexión de los ecosistemas y la protección de cuencas abastecedoras y fuentes subterráneas a escala supramunicipal y regional.
 - Demanda: considera la articulación con políticas de asentamientos, con las decisiones urbanas y de hábitat, que inciden en la ex-

pansión de las ciudades, en la consolidación de los sistemas de abastecimiento. El agua incide directamente en la productividad, así que es fundamental consolidar infraestructuras, como los distritos de riego.

- Disponibilidad: tendrá en cuenta las estrategias de reducción del estrés hídrico, los problemas de desabastecimiento por accesibilidad y los efectos de la variabilidad climática. Las medidas adoptadas deben contribuir a reducir los conflictos de usos del suelo en áreas protegidas y de especial importancia ambiental, destacando los suelos de protección que están en condiciones de alto riesgo no mitigable.
- Gobernanza: tiene en cuenta el proceso de implementación de las determinantes del ordenamiento territorial asociadas al ciclo del agua. Es esencial definir las jerarquías y la coordinación entre entidades para la gestión del agua.

Figura 1. Sistema Nacional Ambiental



Fuente: elaboración propia

1.2 Sistema Nacional Ambiental en el monitoreo del agua

Las principales entidades que deben generar información asociada al recurso hídrico en Colombia son el Minambiente, los institutos de investigación y las autoridades ambientales competentes (corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, autoridades ambientales urbanas y la Unidad Administrativa de Parques Nacionales Naturales), de acuerdo con la Ley 99 de 1993.

En el esquema del Sistema Nacional Ambiental (Figura 1) se resalta la institucionalidad que por norma tiene directa relación con el monitoreo del agua continental y marino costera, en los ámbitos nacional y regional.

A escala nacional, el monitoreo de los recursos hídricos está a cargo del IDEAM en la parte continental, y el INVEMAR debe coordinar y efectuar el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico marino y costero que alimentará el SIRH, y apoyar a las autoridades ambientales regionales con competencia en aguas costeras y marinas (Decreto 1323 de 2007 expedido por MinAmbiente). En territorio marítimo colombiano, la DIMAR cuenta con un sistema de medición para obtener en tiempo real datos relacionados con condiciones oceánicas y atmosféricas que dispone en su Sistema de medición de parámetros oceanográficos y de meteorología marina que se complementa con el sistema administrado por INVEMAR para el Caribe. En el ámbito regional, la competencia es atribuida a las autoridades ambientales: Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, Unidades Ambientales Urbanas y la Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales Naturales - UAESPNN en sus respectivas jurisdicciones (artículo 17 del Decreto 1640 de 2012, compilado en el Decreto 1076 de 2015 expedidos por MinAmbiente).







CAPÍTULO 2

ALCANCE TÉCNICO Y CONCEPTUAL DEL PROGRAMA NACIONAL DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO

2.1 Enfoque conceptual

El esquema presentado en la Figura 2 sintetiza los aspectos conceptuales básicos sobre los cuales se enfoca el Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico y su alcance.

La gestión del conocimiento del recurso hídrico debe constituir un proceso adaptativo que pretende organizar las acciones y relaciones de los actores involucrados en la toma de decisiones, ante la necesidad de entender las interacciones de la naturaleza y la sociedad. Para esto, se propone partir de las lecciones aprendidas (habilidades, conocimientos técnicos) y reconocer y valorar la información ambiental obtenida en virtud de la misión del SINA; presupone administrar de manera eficiente los datos e información¹; fortalecer las herramientas de investigación, los sistemas de monitoreo y observación; optimizar el quehacer de las instituciones; y finalmente, utilizar el conocimiento en la generación de productos comprensibles y aplicables para la resolución de problemas y la toma de decisiones².

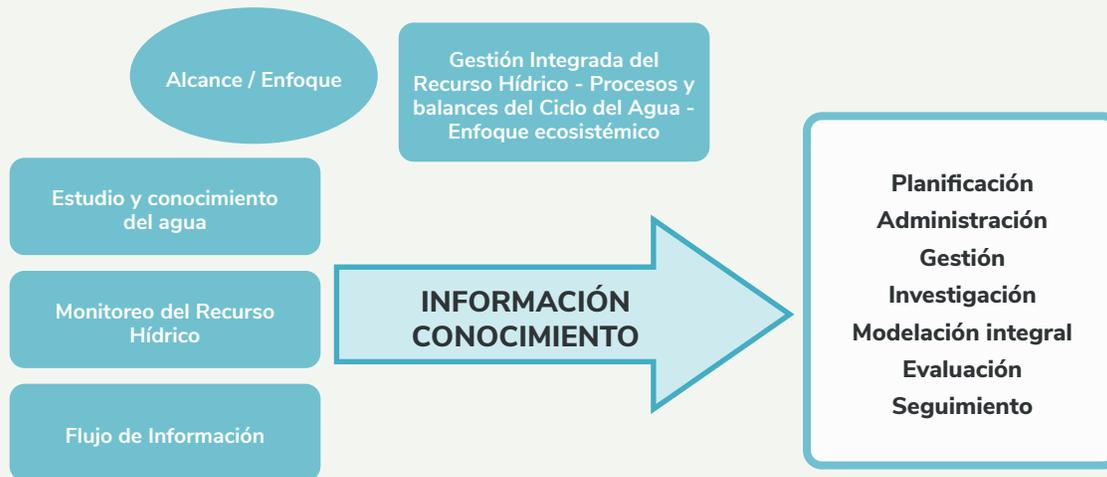
Gestión integral del recurso hídrico

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adopta, para la PNGIRH, la definición de la Global Water Partnership – GWP que considera la gestión integral del recurso hídrico como: “un proceso que promueve la

1 GTZ, Guía de Gestión de Conocimientos para Gerentes y otros Decisores, 2006.

2 Beckman, 1997, citado en B. Rubenstein-Montano. A survey of knowledge-based information systems for urban planning: moving towards knowledge management. Computers, Environment and Urban Systems, 2000.

Figura 2. Enfoque y alcance conceptual del monitoreo del recurso hídrico



Fuente: elaboración propia

gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”.

La PNGIRH tiene como postulado que la integración en la gestión del agua significa considera las diferentes fases del ciclo hidrológico, todos sus usos, los intereses económicos, sociales y ambientales, aspectos inherentes al agua (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia) a nivel de cuencas, acuíferos o sistemas hídricos interconectados, la demanda de agua con la gestión de la oferta, la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados (MinAmbiente, 2010).

En este mismo sentido, la guía y los protocolos del monitoreo y seguimiento del agua se soportan en un modelo conceptual para la generación de información basado en los principios de la gestión integral del agua, teniendo como base una visión sistémica de los ciclos y procesos de la naturaleza, de sus manifestaciones y relaciones, considerando el agua como elemento del medio natural y como recurso. El seguimiento y monitoreo de la dinámica, composición y estado del agua en cada una de las fases que forman parte de estos procesos e interacciones son

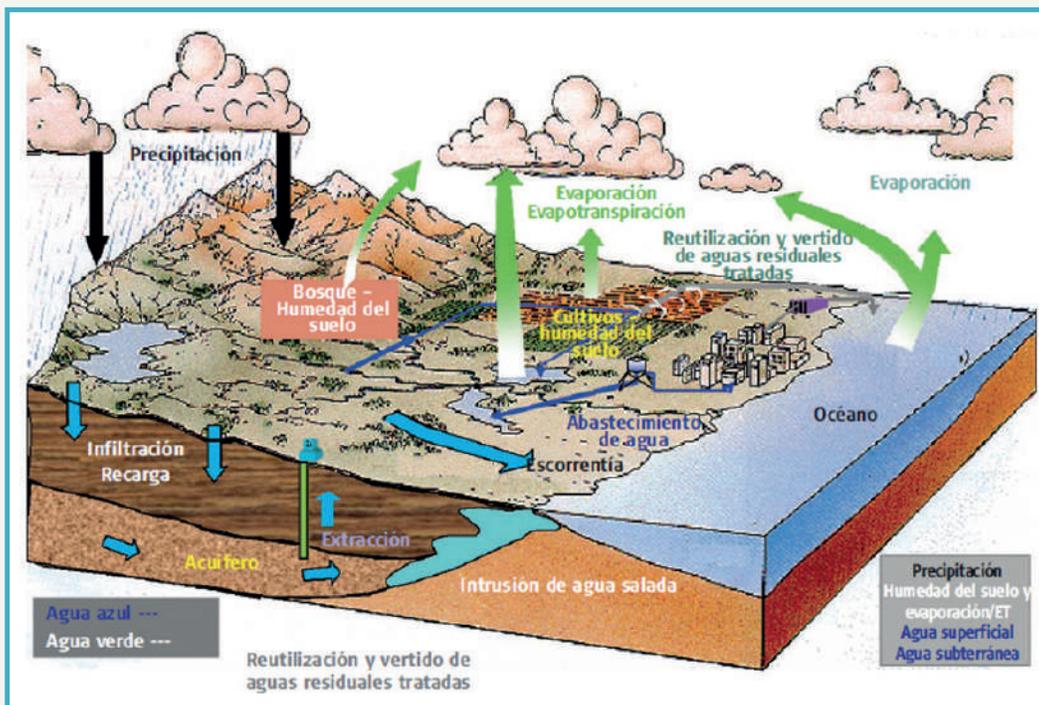
determinantes para que esta gestión sea cada vez más eficiente y eficaz y esté orientada a alcanzar la sostenibilidad de los ecosistemas, del recurso hídrico y de las actividades sociales y económicas que de él dependen (IDEAM, 2006).

El ciclo del agua

El modelo conceptual que soporta la generación de información para la gestión integral del agua tiene como base una visión sistémica de los ciclos y procesos de la naturaleza (el ciclo hidrológico, sus procesos y balances), de sus manifestaciones y relaciones, considerando el agua como elemento del medio natural y como recurso, tal como lo presenta la Figura 3. El seguimiento y monitoreo de la dinámica, composición y estado del agua en cada una de las fases que forman parte de estos procesos e interacciones son determinantes para que esta gestión sea cada vez más eficiente y eficaz y esté orientada a alcanzar la sostenibilidad de los ecosistemas, del recurso hídrico y de las actividades sociales y económicas que de él dependen. (IDEAM, 2006).

En este contexto, el monitoreo de procesos y variables del ciclo del agua como proceso integral (asociadas con la dinámica, cantidad y calidad de las aguas superficiales, subterráneas y marinas;

Figura 3. Ciclo hidrológico.



Fuente: UNESCO, 2006.

la variación de los niveles, cuantificación de los sedimentos y de los ecosistemas acuáticos, marinos y costeros) mantiene el enfoque ecosistémico, la gestión integrada de recurso hídrico y el modelo de causalidad FPEIR como soporte de la evaluación y seguimiento sobre la cual se formuló el PNMRH.

Zonificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia y estructura para la ordenación y manejo de cuenca

En la PNGIRH emitida en el 2010 por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se estructuró un modelo espacial que comprendió cuatro escalas hidrográficas para una ordenación coherente de las cuencas hidrográficas, a saber:

- Cuencas objeto de planificación estratégica, que corresponden a las cinco áreas hidrográficas o macro-cuencas a escala 1:500.000;

- Cuencas objeto de instrumentación y monitoreo a nivel nacional, que corresponden a las zonas hidrográficas a escala 1:250.000;
- Cuencas objeto de ordenación y manejo, que corresponden a los niveles iguales o subsiguientes a las sub-zonas hidrográficas a escalas entre 1:100.000 y 1:25.000, dependiendo del tamaño de la cuenca
- Cuencas y acuíferos objeto del plan de manejo ambiental, que corresponden a las cuencas de orden inferior a las sub-zonas hidrográficas y a los acuíferos prioritarios a escalas de 1:10.000 para aguas superficiales y 1:25.000 para aguas subterráneas.

De la misma manera, para el monitoreo de aguas subterráneas se presenta la zonificación y codificación para las provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos identificados en el ENA (2014) y aquellos que sean identificados por las autoridades ambientales regionales.

Instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico y su articulación con el PNMRH

En la Guía para el ordenamiento del recurso hídrico superficial continental (MinAmbiente, 2018), así como la Guía de formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos (MinAmbiente, 2014), y en la Guía técnica para la formulación de planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (MinAmbiente, 2014), se dan lineamientos relacionados con el diseño e implementación de redes de monitoreo que se desarrollan como una de las actividades definidas en la fase de diagnóstico, que para el caso particular del ordenamiento del recurso hídrico, es un requisito indispensable para dar cumplimiento a procesos de ordenamiento del recurso hídrico.

El monitoreo de las aguas subterráneas es indispensable para evaluar su calidad y su cantidad. Con ello será posible realizar la gestión de los sistemas acuíferos enmarcados en procesos de desarrollo socioeconómico a escala regional. Asimismo, tendrá un papel preponderante a la hora de estudiar los conflictos por el uso del agua subterránea o cuando esta constituya una fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial.

Por otro lado, el monitoreo del recurso hídrico superficial debe garantizar las condiciones de calidad y cantidad necesarias para alcanzar y mantener los usos potenciales del agua. Además, mediante este se contribuye a conservar los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies en sistemas lénticos y lóticos.

Para el caso de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas -POMCA y en los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas-PMAM, el diseño e implementación de las redes complementarias regionales de monitoreo, se deberá contemplar en sus componentes programáticos. Para el caso de los POMCA, las redes complementarias de monitoreo a escala regional deberán contemplar el uso coordinado

del suelo, de las aguas, de la flora, de la fauna y del manejo de la cuenca, mientras que para las microcuencas el monitoreo se orientará a la toma de decisiones que favorezcan el desarrollo integral de estas, destinado a la gestión de los recursos naturales y su conservación.

Respecto a los Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras -POMIUAC, el PNMRH se relaciona con su etapa de ejecución a fin de evaluar el impacto de la gestión ambiental sobre el estado del recurso hídrico marino en los niveles nacional y regional.

Las redes complementarias regionales de monitoreo que se definen en los instrumentos de planificación y administración del recurso hídrico deben complementarse y articularse con la red básica regional o nacional. El monitoreo realizado con estas redes permitirá evaluar el estado e impacto de las acciones desarrolladas en el marco de estos instrumentos sobre el recurso hídrico.

Por su parte, los programas regionales de monitoreo elaborados por las autoridades ambientales deberán contemplar las estrategias de articulación y complementación de las redes básicas y las redes específicas de los instrumentos de planificación y administración, con el fin de que los propósitos de dichos instrumentos se cumplan, y también permitan evaluar, de manera particular, el cumplimiento de las líneas de acción estratégica definidas en la PNGIRH y en la PNAOCI.

Guía de Prácticas Hidrológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012)

Esta guía aporta información sobre las prácticas hidrológicas atendiendo a las necesidades expuestas por los Servicios Hidrológicos nacionales y profesionales de los países miembros de la OMM. La actualización publicada en 2012 contiene aplicaciones prácticas dentro del marco de gestión de calidad, procedimientos e instrumentos utilizados actualmente y referencias que remiten a

documentos que soportan la base teórica y a otros manuales de la OMM que contienen en detalle los procedimientos a seguir para la medición de parámetros hidrológicos.

Enfoque ecosistémico

Los principios del enfoque ecosistémico tienen el potencial de complementar y enriquecer la práctica de la GIRH que, a su vez se complementa con el modelo FPEIR o DPSIR (por su sigla en inglés: Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) basado en una lógica de causalidad, es decir, las actividades humanas ejercen presiones sobre el ambiente y cambian la calidad y cantidad de los recursos naturales (estado).

Así mismo, la sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales (respuestas). El modelo FPEIR responde preguntas básicas que generan indicadores para describir sintéticamente:

- ¿Cómo se encuentra el recurso hídrico en términos de impactos? (Estado)
- ¿Cuáles son las principales causas inmediatas que explican su condición? (Presión)
- ¿Cuáles son las causas mediatas que explican las presiones existentes? (Fuerzas Motrices)
- ¿Cuáles son las medidas que la sociedad ha establecido para mitigar, corregir o prevenir los impactos negativos? (Respuesta)

Ahora bien, se parte de la necesidad de mejorar la información y el conocimiento que sobre el agua tiene el país en sus ámbitos nacional y regional (en relación con su estado y dinámica, cuantificación, distribución espacial y temporal) para dar soporte a los procesos de evaluación, planificación y gestión ambiental, sectorial y del desarrollo sostenible. La información generada debe además soportar la investigación y alimentar el desarrollo y validación de modelos que representen los procesos e interacciones del agua con el medio natural y las intervenciones antrópicas.

Este conocimiento e información debe enmarcarse en el ciclo natural del agua, sus procesos y balances, en el concepto básico adoptado en la política de apuntar a una gestión integral del recurso hídrico y en garantizar el flujo de la información. Este último debe partir del monitoreo del agua en el marco de un sistema de observación, medición y vigilancia, articulado con el Sistema de Información Ambiental para Colombia- SIAC, en particular con el componente hídrico, para dar soporte a las siguientes fases de análisis, modelación y difusión, considerando el enfoque ecosistémico, la gestión integrada de recurso hídrico y el modelo de causalidad FPEIR.

2.2 Agua: estudio y generación de conocimiento

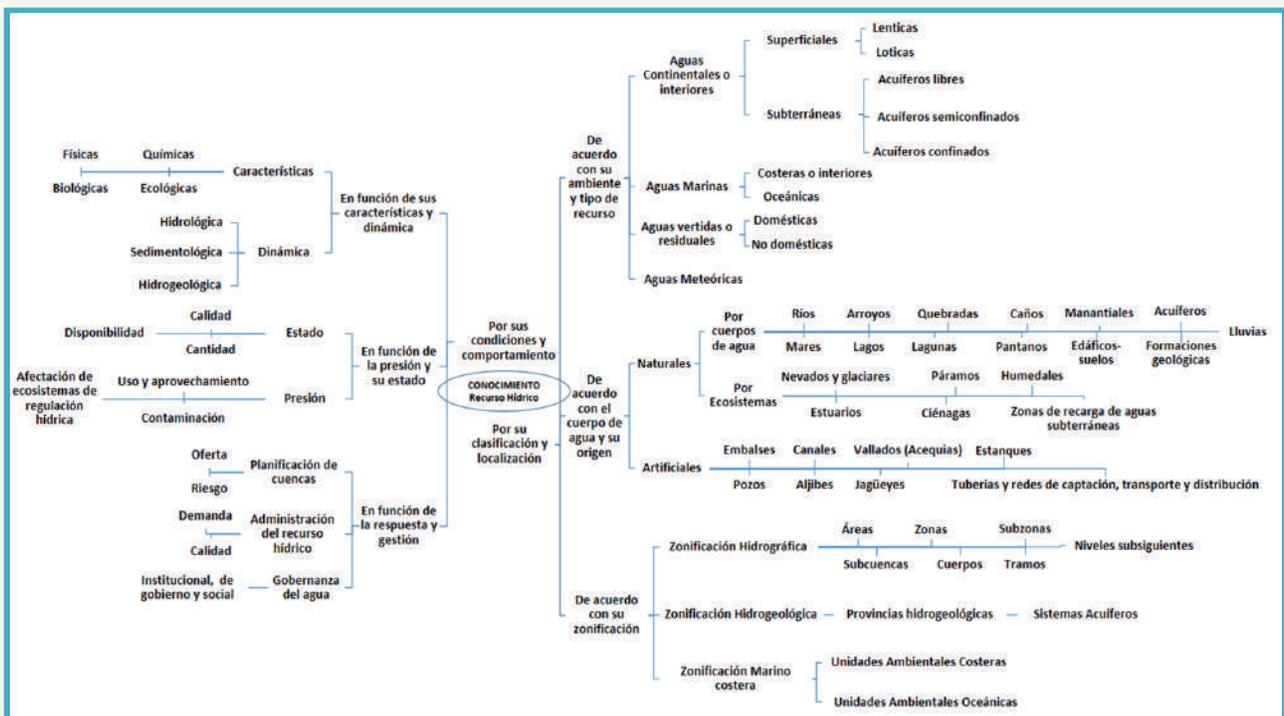
De acuerdo con la Guía de prácticas hidrológicas de la OMM (versión 2012), la Hidrología es la ciencia que estudia la ocurrencia y distribución espacial y temporal del agua en la Tierra, sus propiedades químicas, biológicas, físicas y su interacción con el entorno natural (OMM / UNESCO, 1992). Asimismo, esta ayuda a comprender las distintas fases del ciclo hidrológico y su estudio genera la base para la evaluación y gestión de los recursos hídricos.

Por lo anterior, el PNMRH promueve el desarrollo de la capacidad de observación, medición y evaluación sistemática de los componentes temáticos, orientado a la comprensión de las mencionadas fases del ciclo hidrológico, sus interacciones y diferentes dimensiones para abordar el conocimiento de acuerdo con las necesidades de gestión del recurso.

La gestión del conocimiento del agua implica la captura, transmisión, almacenamiento, procesamiento, disposición, distribución y uso efectivo de la información asociada a los diferentes ámbitos que abordan la temática de los recursos hídricos.

En la Figura 4 se presentan algunos de los enfoques más utilizados para explicar cómo puede abordarse el conocimiento del recurso hídrico en el territorio

Figura 4. Enfoques más usados para abordar la generación de conocimiento del agua en Colombia



Fuente: elaboración propia.

nacional; por ejemplo, el recurso hídrico puede analizarse en función de sus condiciones o comportamientos o en función de su localización o clasificación, siendo estos enfoques complementarios entre sí y dependiendo de los propósitos de cada estudio en particular.

En el caso del enfoque relacionado con sus condiciones y comportamiento, se puede conocer el recurso hídrico en función de sus características y su dinámica. Las características químicas, físicas, biológicas y ecológicas del agua nos hablan, por ejemplo, acerca de sus propiedades, su inocuidad y sus servicios ecosistémicos y, por otro lado, la hidrodinámica de un río o el comportamiento hidrosedimentológico nos dice cómo se comporta y distribuye el flujo de caudales líquidos y sólidos que transporta.

También puede conocerse el recurso hídrico en función del estado y la presión que sobre él se ejerza; es decir, a partir de la cantidad, calidad o disponibilidad presente en determinado punto o unidad hidro-

lógica y en un periodo de análisis específico se puede determinar su suficiencia y aptitud, o conforme la presión que esté soportando, se puede evaluar el grado de riesgo de pérdida de sus servicios, ya sea por el uso y aprovechamiento, por contaminación de residuos líquidos y sólidos o por la afectación a ecosistemas estratégicos para su regulación.

Así mismo, se puede generar conocimiento del recurso hídrico en función de la respuesta y la gestión que se realice sobre él; es decir, a través del conocimiento derivado de los instrumentos generados por las políticas ambientales; por ejemplo, en el marco de los procesos de planificación de cuencas, administración del recurso hídrico y gobernanza del agua, se gestiona estratégicamente y, por lo tanto, se genera conocimiento sobre la oferta hídrica, la demanda, la calidad, el riesgo asociado al agua (déficit o exceso), la institucionalidad, el gobierno y la acción social relacionada.

Por otra parte, los roles y competencias institucionales, así como las medidas de intervención para

generar conocimiento asociado al recurso hídrico, se determinan a partir de su clasificación y localización. En este sentido, las instituciones encargadas de generar conocimiento del recurso hídrico pueden variar de acuerdo con el ambiente de localización y tipo de recurso.

Por lo tanto, las técnicas de estudio o actores involucrados en el conocimiento del agua varían sustancialmente según el ambiente en el que se encuentra o según el tipo de recurso hídrico del que se requiere generar conocimiento; en este sentido, de acuerdo con el ciclo hidrológico, se diferencian ampliamente las aguas superficiales, las subterráneas, las marinas, las meteóricas y las residuales. Asimismo, se diferencian cuerpos lénticos o lóticos cuando se habla de aguas superficiales, o, para el caso de aguas subterráneas, pueden existir acuíferos confinados, semiconfinados o libres. Para agua marinas pueden existir aguas costeras u oceánicas y, en el caso de las aguas residuales, también conocidas como aguas servidas, estas se pueden clasificar en domésticas o no domésticas conforme la normativa vigente.

También se puede generar conocimiento teniendo en cuenta el origen del sistema o cuerpo hídrico; es decir, si su origen es natural por ejemplo ríos, quebradas, arroyos, caños, lagos, lagunas, pantanos, manantiales, acuíferos, el mar o el agua lluvia. Además, se puede estudiar con enfoque de ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica como, por ejemplo, nevados y glaciares, páramos, ciénagas, humedales, zonas de recarga de aguas subterráneas, estuarios, manglares, arrecifes de coral, pastos marinos, ambiente pelágico, litoral rocoso, playas arenosas y lagunas costeras. Si su origen es artificial, podemos generar conocimiento en embalses, estanques, canales, vallados (acequias), pozos, aljibes, jagüeyes, tuberías y redes de captación, transporte y distribución.

Además, se puede generar información para el conocimiento del recurso hídrico de acuerdo con las zonificaciones o delimitaciones geográficas del país; por ejemplo, la zonificación hidrográfica ha definido los siguientes niveles hidrográficos,

objeto de instrumentación y caracterización: áreas hidrográficas, zonas hidrográficas, subzonas hidrográficas, niveles subsiguientes y subcuencas. Asimismo, se pueden tener cuerpos de agua y tramos de cuerpos de agua. Igualmente, en la zonificación hidrogeológica se cuenta con los niveles de: provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos. Para el caso de la zonificación marino-costera existen las unidades ambientales costeras y unidades ambientales oceánicas.

Como la actividad humana se desarrolla en el medio natural existe una estrecha relación sociedad-naturaleza que tiene la particularidad de ser de mutua interacción (IDEAM, Pabón y García, 1996). Por ello, la base conceptual, el modelo de información, el programa de monitoreo y seguimiento del agua y del medio natural, deben formularse de tal manera que soporten la generación de conocimiento sobre los procesos naturales que integran el ciclo del agua y permitir el seguimiento al comportamiento de estos procesos, interpretar la respuesta ante la influencia de la actividad humana y evaluar la gestión para controlar esta influencia.

2.3 Monitoreo del Agua

El monitoreo del agua es entendido como un sistema continuo de observación, medición y evaluación de las variables que definen y representan los fenómenos relacionados con este recurso. A partir del monitoreo del agua es posible estudiar la dinámica de los procesos que hacen parte de la hidrosfera.

Comprender detalladamente los procesos naturales e interacciones antrópicas que hacen parte del ciclo del agua puede llegar a ser muy complejo, por lo que se hace necesario establecer cuáles son las variables a monitorear para obtener una representación básica de la realidad. En el modelo conceptual de los componentes hidrológico, oceanográfico, meteorológico y climatológico del Sistema de información ambiental publicado por el IDEAM en 1996 se definieron estas variables como aquellas propiedades o efectos sobre el

agua que están relacionados con las características físicas, químicas o biológicas observadas en un determinado lugar y momento.

Estas variables, junto con las que determinan la dinámica de uso y aprovechamiento del agua, permiten evaluar las condiciones de cantidad, calidad, oferta y demanda de agua, y alimentar los indicadores ambientales, de gestión y de desarrollo sostenible definidos para el seguimiento del recurso hídrico. Además, permiten representar los procesos como funciones continuas o discretas para construir modelos que permitan representar los fenómenos asociados al agua. Por ello, constituyen la base del sistema de información, monitoreo y seguimiento del medio natural.

El monitoreo se centra en las variables que permiten la representación básica de los procesos, la interpretación de sus dinámicas, la cuantificación y evaluación de sus alteraciones. Por consiguiente, a medida que se realizan actividades de monitoreo sistemático y continuo, aumenta el conocimiento sobre el recurso hídrico, generando herramientas para la toma de decisiones en los ámbitos nacional y regional. Además, proporcionará la información necesaria para la planificación y gestión del bienestar social, así como del desarrollo económico y sectorial sustentado en este recurso. Por lo tanto, se requiere un ejercicio sistemático, coordinado y articulado de observaciones, mediciones y evaluaciones de los procesos naturales y de los fenómenos relacionados con el recurso hídrico por parte de las instituciones con competencia en el monitoreo del agua.

Los principales procesos susceptibles de monitoreo dentro del ciclo hidrológico son: precipitación, infiltración, escorrentía y evapotranspiración. No obstante, también existen otros procesos asociados al agua que requieren ser monitoreados, como aquellos relacionados con la calidad del recurso hídrico y con los procesos hidrobiológicos y ecosistémicos, entre otros. Asimismo, las actividades humanas (como localización de asentamientos humanos, industria, ganadería, agricultura, entre otros) pueden alterar el comportamiento del ciclo natural del agua mediante su uso, el uso del suelo

y a través de la utilización, reutilización y vertido de residuos en los sistemas hídricos superficiales, subterráneos y marinos (UNESCO, 2006a).

Para realizar un adecuado monitoreo de las variables relacionadas con el agua, es necesario definir procedimientos prácticos para obtener observaciones representativas, con incertidumbres aceptables. (OMM, 2012).

Las características del monitoreo deben responder a la necesidad de establecer lineamientos técnicos y promover la estandarización de criterios metodológicos para la evaluación del recurso hídrico y otras matrices ambientales relacionadas, de acuerdo con las condiciones ambientales, objetivos, usos del recurso, requerimientos normativos y otros. Para realizar el monitoreo del recurso hídrico, las instituciones competentes deberán tener en cuenta los elementos técnicos presentados en la Figura 5, los cuales son descritos a continuación.

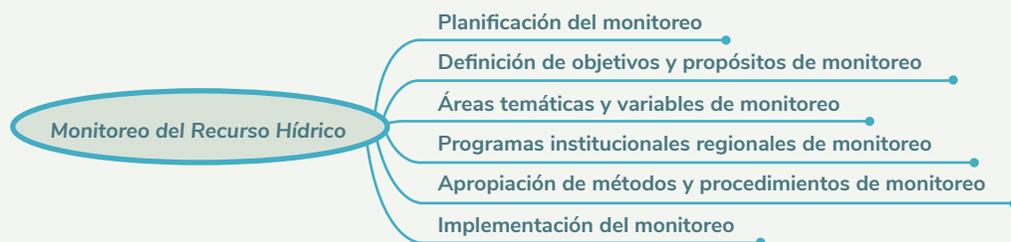
Planificación del Monitoreo

Mediante la planificación se busca preparar, a los actores con competencia en monitoreo del agua, para la realización de este proceso a través de la definición de la línea base para el monitoreo. Lo anterior implica inventariar los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros con los que se cuenta para llevar a cabo dicha tarea. También será necesario evaluar las capacidades institucionales que tienen los actores asociados al monitoreo a fin de construir un marco lógico y un plan operativo que describa los objetivos, propósitos, actividades, indicadores, tiempos, responsables y recursos necesarios del monitoreo a realizar. Se deberá incluir un sistema de seguimiento (Figura 6).

Definición de objetivos y propósitos de monitoreo:

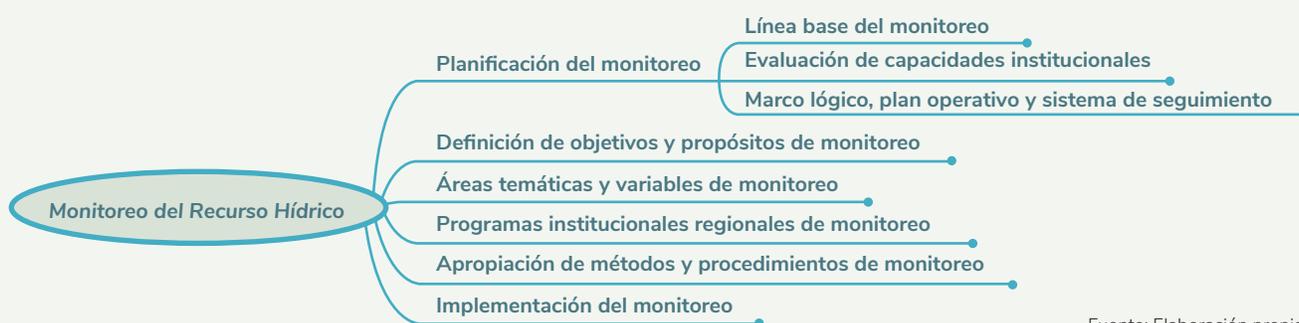
La definición de objetivos y propósitos de monitoreo debe tener en cuenta las principales problemáticas del agua dentro de la jurisdicción a monitorear

Figura 5. El Monitoreo del Recurso Hídrico



Fuente elaboración propia.

Figura 6. El Monitoreo del Recurso Hídrico. Planificación del monitoreo



Fuente: Elaboración propia

por las instituciones. Esto implica reconocer las principales necesidades de conocimiento acorde al cuerpo o unidad hídrica objeto de estudio en función de las particularidades geográficas y socio económicas.

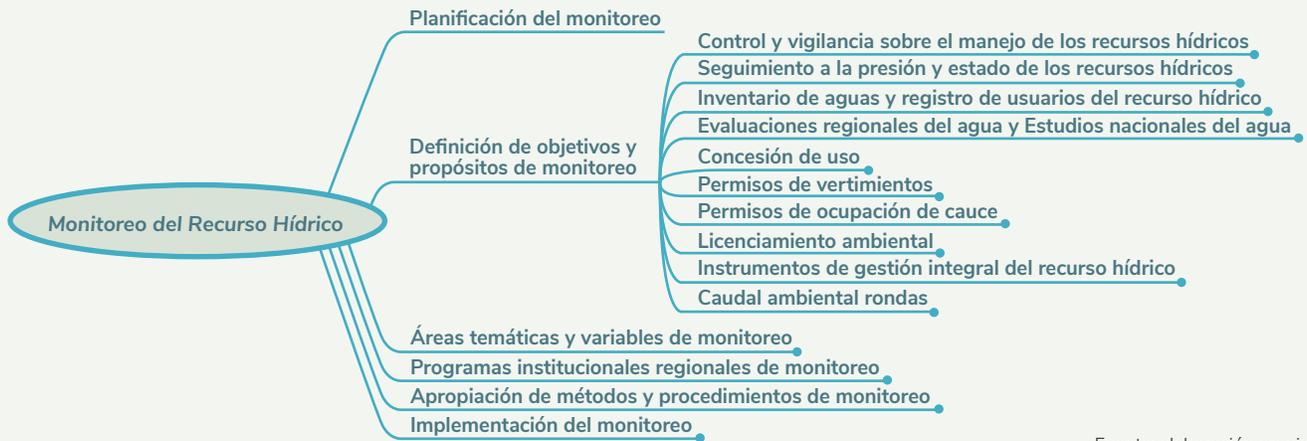
Puede existir un sinnúmero de objetivos de monitoreo y, asimismo, pueden ser muy variados entre sí; esto dependerá del propósito que se quiere atender. Algunos objetivos pueden ser, por ejemplo: el conocimiento de la oferta hídrica, el análisis de balances hídricos, la evaluación de las condiciones de presión y disponibilidad del recurso hídrico, la evaluación de las condiciones de calidad del agua, la evaluación de las condiciones sedimentológicas e hidrobiológicas de un cuerpo de agua, entre otros.

Estos objetivos de monitoreo pueden ser cumplidos a través del estudio de los procesos o áreas temáticas de conocimiento asociadas al recurso hídrico, como por ejemplo: la evaporación, la precipitación, la infiltración, la escorrentía, el flujo subterráneo o la evapotranspiración. Para ello es necesario identificar

las variables que serán monitoreadas en cada área temática de estudio.

Todos los objetivos deben tener un propósito definido de monitoreo. Para esto es necesario contemplar los roles, funciones y responsabilidades institucionales de las autoridades ambientales competentes. Dentro de los roles, funciones y responsabilidades más importantes se encuentran: control y vigilancia sobre el manejo de los recursos hídricos; seguimiento a la presión y estado de los recursos hídricos; inventario de cuerpos de agua y registro de usuarios del recurso hídrico; evaluaciones regionales del agua y estudios nacionales del agua; evaluación y otorgamiento de concesiones de agua; permisos de vertimiento y de ocupación de cauce; licenciamiento ambiental de proyectos con impacto en fuentes hídricas o implementación de instrumentos de gestión integral del recurso hídrico, como la estimación de la oferta hídrica disponible considerando el caudal ambiental, acotamiento de rondas hídricas y sus respectivas estrategias de manejo ambiental, entre otras (Ver Figura 7).

Figura 7. El monitoreo del recurso hídrico. Definición de objetivos y propósitos de monitoreo.



Fuente: elaboración propia

Áreas temáticas y variables de monitoreo

Son aquellas que agrupan los procesos objeto de estudio y a partir de las cuales se definen las variables sujetas a observación, medición y evaluación, con el fin de proporcionar información relativa al conocimiento del recurso hídrico, tanto a través de sus condiciones y comportamiento, como de su clasificación y localización.

Partiendo de la definición del objetivo y propósito de monitoreo, de la identificación de los procesos y de las áreas temáticas en la unidad hidrológica de interés, se procede a establecer las variables a monitorear. A partir de estas, se definen los métodos, herramientas e instrumentos que permitirán realizar el monitoreo a dichas variables.

Dentro de las áreas temáticas que se pueden considerar, se encuentran: hidrológica, sedimentológica, hidrogeológica, meteorológica, de calidad del agua natural y de aguas residuales, hidrobiológica, oceanográfica, ecosistémica y de gestión de los recursos hídricos.

Las variables mínimas de referencia para el monitoreo, de acuerdo con cada una de las áreas temáticas consideradas, se relacionan a continuación:

- **Hidrológica y sedimentológica:** proporcionan información para el conocimiento sobre la cantidad

y distribución de caudales líquidos y sólidos en los cauces de los cuerpos de agua superficial. Dependiendo del objetivo a monitorear, las variables mínimas corresponden a: niveles y caudales de agua, y concentración y transporte de sedimentos.

- **Meteorológica:** proporciona información para comprender la ocurrencia, ausencia y circulación del agua. Las variables mínimas a monitorear son: precipitación, presión atmosférica, temperatura, radiación solar, humedad del aire, dirección y velocidad del viento, evaporación y evapotranspiración.
- **Hidrogeológica:** proporciona información sobre la cantidad y calidad del agua subterránea. Las variables mínimas a monitorear en cantidad son: los niveles piezométricos en redes constituidas por pozos convencionales de monitoreo debidamente nivelados topográficamente. Con respecto a la calidad de las aguas subterráneas, el protocolo contempla monitorear, tanto variables fisicoquímicas in-situ como analizadas en laboratorio. Las variables mínimas de referencia medidas In-situ son: pH, temperatura, conductividad eléctrica, potencial redox, oxígeno disuelto y alcalinidad. Las variables mínimas de referencia analizadas en laboratorio son: sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cloro (Cl), sulfatos (SO₄), nitratos (NO₃), bicarbonatos (CO₃H), silicio (Si), amonio (NH₄), boro (B), bario (Ba), estroncio (Sr), flúor (F) y

bromo (Br). Además, existen otras variables que, dependiendo del objetivo de monitoreo, se pueden considerar, tales como metales y otros parámetros hidrogeoquímicos e isotópicos.

- **Hidrobiológica:** está enfocada a la determinación y monitoreo de indicadores biológicos y biosensores, entre otros; esto de acuerdo con las características propias de cada ecosistema acuático.
- **Calidad del agua:** está enfocada a determinar la admisibilidad del recurso hídrico para los usos establecidos. Los parámetros básicos a tener en cuenta de acuerdo con el objetivo de monitoreo están especificados en la Figura 8.

Sin embargo, los parámetros básicos contemplados en la Figura 8 no limitan la posibilidad de adicionar otros, en cumplimiento de la normatividad vigente o de lo establecido en el Programa Institucional Regional de Monitoreo del Agua - PIRMA. Tampoco desconocen la necesidad de monitoreo de la química de los sedimentos o del monitoreo hidrobiológico, cuyas especificidades y organismos a monitorear están determinados por el objetivo, el ambiente (continental o marino) y, los indicadores que se quiera conocer.

- **Oceanográfica:** está enfocada a evaluar los procesos físicos, hidroquímicos y biológicos característicos presentes en los espacios marinos y costeros, cuyas variables se encuentran ampliamente descritas a partir de los objetivos definidos en la publicación del componente marino de monitoreo.
- **Ecosistémica:** está encaminada a evaluar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos donde también puede haber relación con otros ecosistemas vinculados. En este monitoreo puede que se articulen algunas de las áreas temáticas anteriormente descritas con otras áreas ambientales que sean necesarias de acuerdo con cada ecosistema. Para establecer las variables se considera pertinente mejorar la capacidad de evaluación de la salud ambiental, considerando características que se puedan correlacionar con el estado de los ecosistemas acuáticos y los criterios de admisibilidad del agua, en relación con los usos que establezcan los instrumentos de gestión integrada de los recursos hídricos.
- **Uso del agua:** está relacionado con la ocupación, captación o vertimiento efectuado sobre los

Figura 8. El monitoreo del recurso hídrico. Parámetros de calidad de agua

VARIABLES <i>in situ</i>	Temperatura (C°), Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, pH.
Físicos	Descarga/nivel de agua. Sólidos suspendidos totales. Turbidez.
Nutrientes	Nitrato, Nitrito, Amoníaco, Nitrogeno orgánico disuelto, Fósforo total disuelto, fósforo total en suspensión.
Materia Orgánica	Carbono orgánico disuelto, Carbono orgánico en suspensión. Demanda bioquímica de oxígeno DBO-5. Demanda química de oxígeno DQO.
Microbiológicos	Coliformes fecales, Coliformes totales
Metales	Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo, Cromo, Hierro, Mercurio, Níquel, Selenio, Zinc, Manganeseo.

Fuente: IDEAM, 2019, Modificado: WMO, 2008.

cuerpos de agua del territorio nacional. Las variables mínimas relacionadas con el uso del agua están definidas en el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico – RURH.

- **Aguas residuales:** está encaminada a realizar seguimiento a los factores que están causando deterioro de un cuerpo de agua o del suelo en virtud de los vertimientos que realicen los usuarios del recurso hídrico en el territorio nacional. Las variables mínimas de referencia están definidas en la Resolución 631 de 2015 expedida por MinAmbiente (o aquella que la modifique o sustituya).
- **Demanda de agua:** se orienta al registro de la medición o, en su defecto, de la estimación de caudales captados para diferentes usos del agua dentro del territorio nacional.
- **Instrumentos de gestión integral del recurso hídrico:** con el fin de generar conocimiento acerca de la gestión que se realiza en torno a la planificación, administración o gobernanza del agua en los territorios, también es importante incluir el monitoreo de indicadores prioritarios definidos para el seguimiento y evaluación de las acciones desarrolladas en instrumentos tales como:
 - Planes Estratégicos de Macrocuenca –PEM.
 - Planes de Ordenación y Manejo de las Cuenca Hidrográficas –POMCAS.
 - Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico –PORH.
 - Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas y Acuíferos – PMAM y PMAA.
 - Programas de Uso Eficiente y Ahorro del Agua- PUEAA.
 - Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV.
 - Planes de Ordenación y Manejo Integrado de las Unidades Ambientales Costeras –POMIUAC.

El concepto de variables mínimas no debe ser descontextualizado de los componentes

estratégicos, programáticos y tecnológicos de los PIRMA. Además, la definición de variables de monitoreo deberá contar con la justificación de los objetivos y propósitos de monitoreo definidos por la institución encargada de este.

Programas Institucionales Regionales de Monitoreo del Agua -PIRMA

Los PIRMA son el instrumento mediante el cual las autoridades ambientales competentes organizan, integran, articulan y coordinan las acciones necesarias para el monitoreo del agua en su jurisdicción.

Las instituciones competentes para la generación de información oficial a través del monitoreo del agua en el territorio nacional son: las corporaciones autónomas regionales, y de desarrollo sostenible, autoridades ambientales de grandes centros urbanos, Parques Nacionales Naturales de Colombia PNNC, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA e institutos de investigación ambiental. No obstante, otras instituciones con funciones en la materia podrán aportar datos de monitoreo para agregar a la información oficial del país y las regiones.

Los programas de monitoreo del agua estarán integrados por componentes estratégicos, programáticos, tecnológicos y financieros donde se definirán los objetivos y alcances de monitoreo, los diseños de las redes de observación, medición y vigilancia, las áreas de estudio, variables a medir y frecuencias, así como los recursos humanos e infraestructura física y tecnológica necesaria para el monitoreo; de igual forma, allí se definen las tecnologías, métodos y procedimientos para la toma de datos, los costos, fuentes y estrategias de financiamiento para su cumplimiento, tal y como se sintetiza en la Figura 9.

Para tales efectos, los alcances del PIRMA deben considerar los lineamientos y prioridades definidas en la política ambiental existente tales como los

Figura 9. El monitoreo del recurso hídrico. Programas Institucionales Regionales de Monitoreo del Agua-PIRMA.



Fuente: adaptado de IDEAM, 2019

previstos en la PNGIRH, en la PNAOCI, en la PNHIC, en la PNCC y en la PNGIBSE, entre otras.

Así mismo, los PIRMA tendrán en cuenta las escalas de planificación establecidas para puntualizar el monitoreo del agua. Estas escalas están establecidas en la zonificación hidrográfica, la hidrogeológica y la marino costera. Además, los PIRMA tendrán en cuenta las competencias definidas en la normativa vigente para las autoridades ambientales.

En este orden de ideas, los PIRMA definirán los diseños de las redes de monitoreo respondiendo estratégicamente a qué se va a monitorear, por qué se va a monitorear, para qué monitorear y dónde monitorear, conforme a los objetivos, a los propósitos y a las variables de monitoreo particulares definidas por cada institución (ver Figura 10).

Para lo anterior, se pueden identificar cuerpos de agua de referencia general, ecosistemas especiales, alertas tempranas, necesidades de redes específicas, beneficios de las actividades de monitoreo, tendencias observadas que puedan ser consideradas en el monitoreo, o conflictos

potenciales de uso que deben monitorearse, entre otros.

Las redes de monitoreo del recurso hídrico se pueden definir como un conjunto de puntos de observación, medición y evaluación de determinadas variables. Estas pueden clasificarse de manera general por su escala, ámbito y alcance de observación. En cuanto a su escala, se pueden agrupar teniendo en cuenta la dimensión de la unidad hidrológica en observación, en redes locales, regionales, nacional e internacionales, y, en lo que respecta a su ámbito de observación, estas pueden clasificarse en diferentes tipos teniendo en cuenta los parámetros a medir como: hidrológicas, meteorológicas, hidrogeológicas, oceanográficas, de calidad o de multipropósito como las hidro-meteorológicas. Además, pueden clasificarse según su un alcance, en monitoreo básico, complementario o específico.

También se determinará en los diseños, la ubicación de puntos, la resolución temporal, la duración del monitoreo, los tipos de sensores, la exactitud, los niveles de detección de equipos e instrumentos, la tecnología de medición y observación a utilizar, entre

Figura 10. El monitoreo del recurso hídrico. Diseño de la red de monitoreo.



Fuente: adaptado Guía de prácticas hidrológicas No 168. Ginebra - Suiza: OMM. (2012)- 6a Edición.

otros. En cuanto a la resolución temporal, esta hace referencia a la periodicidad o frecuencia mínima de monitoreo que debe ser definida teniendo en cuenta la relación costo-beneficio, específicamente cuando se emplean instrumentos como sensores o satélites que permitan obtener imágenes con una resolución espacial adecuada.

Otros elementos fundamentales a establecer en los PIRMA son los recursos humanos, la infraestructura física y tecnológica necesaria para el monitoreo, así como la determinación de los métodos y procedimientos para la captura de datos, tomando como referencia lo precisado en los protocolos de monitoreo del agua definidos por el IDEAM en conjunto con el INVEMAR.

Además, será necesario identificar redes, puntos o estaciones de monitoreo de autoridades ambientales e institutos de investigación que puedan coincidir con los diseños determinados en el PIRMA respectivo, esto con el fin de identificar instituciones

aliadas y los propósitos de monitoreo que sean comunes para las partes, en aras de compartir datos e información que articule, simplifique y optimice los esfuerzos de instalación, operación, mantenimiento, análisis, equipos, herramientas, transporte, infraestructura, mano de obra, logística y talento humano calificado. Lo anterior, contribuirá a la eficiencia de recursos públicos y facilitará la coordinación intra e interinstitucional y se robustecerán las bases de datos conjuntas que sean producto de dicho monitoreo.

Los PIRMA también tendrán en cuenta proyectos de formación y cualificación de personal en aspectos necesarios para la implementación del monitoreo del agua y proyectos de investigación necesarios para mejorar el conocimiento del agua en su jurisdicción. Finalmente, debe estimarse el costo de implementación de lo definido en cada PIRMA e incorporar este instrumento en los planes de acción correspondientes que permitan su financiamiento

y/o establecer las fuentes y estrategias financieras que permitirán su implementación.

Métodos y procedimientos de monitoreo

Aunque existen diversos enfoques para llevar a cabo el monitoreo, debe promoverse la apropiación de métodos y procedimientos estandarizados. Además, se deben definir y aplicar criterios mínimos para la observación, medición, evaluación y seguimiento del recurso hídrico (ver Figura 11).

La aplicación de prácticas estandarizadas para realizar el monitoreo del agua evitará la variación en la forma de capturar, recopilar y valorar los datos. Para tales efectos, este programa (PNMRH) insta a las instituciones a proceder conforme lo dispuesto por el IDEAM y el INVEMAR en el Protocolo de Monitoreo del Agua (IDEAM, INVEMAR, 2017) y los protocolos conexos, los cuales se listan a continuación:

- Protocolo de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos (IDEAM).
- Protocolo de Monitoreo de Vertimientos (MinAmbiente).
- Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua (IDEAM, 2007).

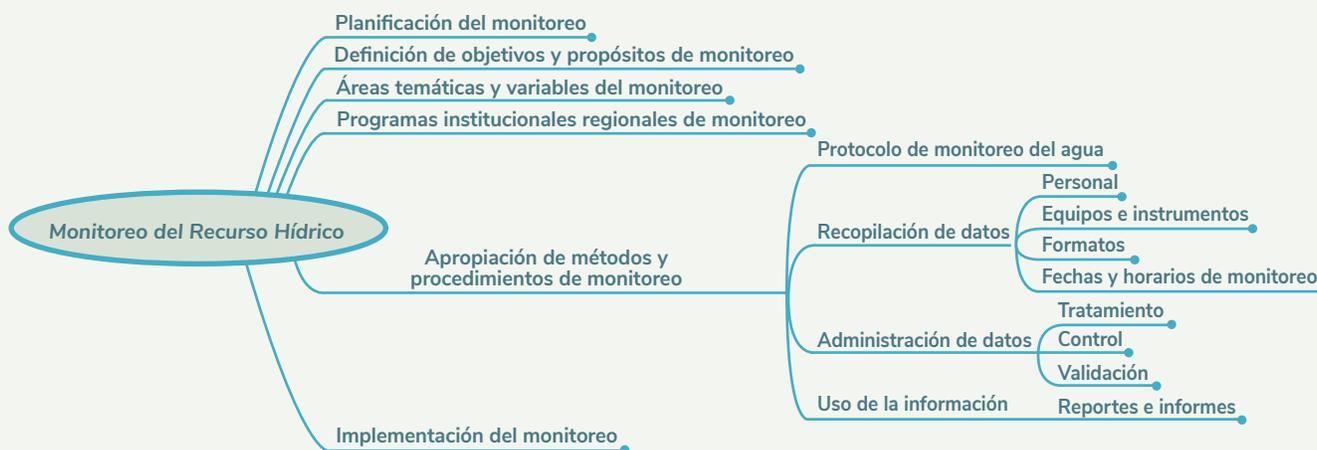
- Instructivo para la Toma de Muestras de Aguas Residuales (IDEAM, 2007).
- Guías para el Monitoreo de Vertimientos, Aguas Superficiales y Subterráneas (IDEAM, 2002).

El Protocolo de Monitoreo del Agua orienta la realización de prácticas hidrológicas de monitoreo e integra los procedimientos pertinentes con una visión integral del ciclo hidrológico en sus ámbitos continental y marino-costero. Es función del IDEAM disponerlo y mantenerlo actualizado para consulta de las instituciones con competencia en el monitoreo del recurso hídrico en el país (IDEAM, Vargas, 2018).

Para la captura y recopilación de datos se definirá el personal, equipos e instrumentos necesarios, así como la apropiación de formatos y el establecimiento de fechas y horarios de monitoreo.

Para dar garantía de la confiabilidad de la información, será necesario establecer las pautas a seguir para el tratamiento, control y validación de los datos recopilados, lo cual será definido por la institución competente del monitoreo dentro de su procedimiento de administración de datos; para tal fin contemplará como mínimo la revisión de datos y corrección de anomalías en los mismos. Esto se realizará previo a su registro en los correspondientes sistemas de información.

Figura 11. El monitoreo del recurso hídrico. Apropiación de métodos y procedimientos.



Fuente: adaptado de IDEAM (2019).

El monitoreo del recurso hídrico estará orientado a generar un impacto en la toma de decisiones soportada en evidencia técnica y científica. Para ello, será necesario que las instituciones competentes dispongan la información, producto del monitoreo, en medios y canales abiertos. Además, deberán realizar seguimiento a la apropiación de dicha información por parte de los usuarios. El sistema de Información del Recurso Hídrico- SIRH, que hace parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC, se dispondrá como una herramienta tecnológica que facilite este propósito. El SIRH, además, será interoperable con otros sistemas de información.

Por lo tanto, las instituciones con competencia en el monitoreo deberán reportar los datos y la información que permitan alcanzar el cumplimiento de los propósitos y objetivos de monitoreo en el SIRH y/o en los otros sistemas de información disponibles. Aquella información que no sea útil para la institución que esté realizando el reporte, deberá ser simplificada.

El Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC está conformado por el Sistema de información Ambiental Marina- SIAM, el Sistema de información del recurso hídrico -SIRH y el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico -RURH. Con base en la reglamentación vigente de los sistemas que conforman el SIAC se espera que los datos obtenidos a partir de las redes de monitoreo permitan agregar información y consolidar documentos de diagnóstico a nivel local, regional y nacional (p.ej. Estudios regionales del agua -ERAs, Estudio nacional del agua, el Informe del estado de los recursos naturales, o líneas base) para evaluar el estado del recurso hídrico, el impacto y tendencias en función del enfoque de administración del recurso y como seguimiento a los instrumentos de la política ambiental.

Implementación del monitoreo

Para la implementación del monitoreo del recurso hídrico se deberán considerar las acciones presentadas en la Figura 12.

Inicialmente, las instituciones competentes deberán considerar el ajuste a su esquema organizacional, de tal forma que las funciones de monitoreo del recurso hídrico estén asignadas a alguna de sus dependencias. Además, estas deberán incorporar recurso humano suficiente e idóneo para liderar, implementar y hacer seguimiento al monitoreo.

Además, se requiere adecuar la infraestructura física y tecnológica necesaria para el monitoreo; adquirir, modernizar, operar y mantener el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia- SOMV; integrar, operar y mantener el SIRH y, generar comunicaciones y difundir la información.

Para la implementación, también es importante diseñar e implementar estrategias de operación, calibración y mantenimiento de equipos y de la infraestructura necesaria. Para ello, se podrán considerar alianzas con otras entidades competentes.

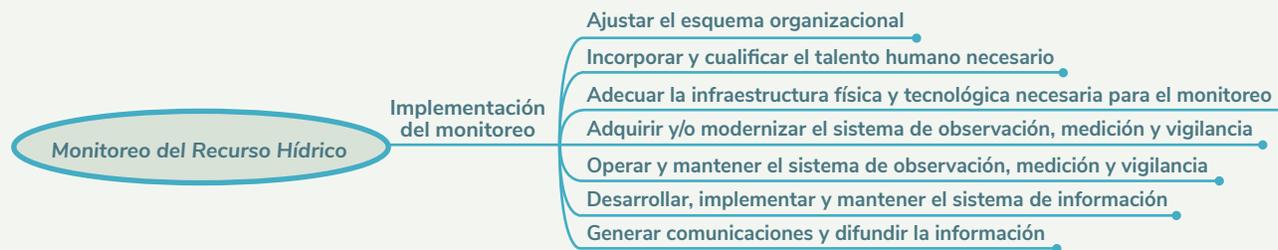
En función de lo expuesto, el monitoreo debe materializar los lineamientos sobre el diseño, teniendo en cuenta los tipos de cuerpos de agua, la problemática ambiental, características, variables e indicadores, resolución espacial y temporal, incluyendo los métodos y procedimientos.

2.4 Monitoreo marino costero

El recurso marino costero debe ser parte fundamental de la gestión integral del recurso hídrico. Por lo anterior, se deben tener en cuenta diferentes niveles funcionales (operacional, organizacional y constitucional) que se centren en los intereses relativos al uso, control y preservación de los sistemas hídricos y su sostenibilidad.

La función operacional hace referencia al uso o control del recurso hídrico para los propósitos definidos, con el fin de satisfacer las demandas específicas. La función organizacional está enfocada hacia el manejo de cuencas hidrográficas, asignación de flujos de agua, capacidad de asimilación y mantenimiento del ecosistema para así, alcanzar un nivel de coordinación para el uso y distribución del

Figura 12. El monitoreo del recurso hídrico. Implementación del monitoreo del agua.



Fuente: adaptado de IDEAM (2019)

agua, y prevenir y mitigar los conflictos y problemas presentados entre diferentes usos y usuarios. Y, la función constitucional es la estrategia nacional para el manejo integrado del recurso hídrico a través de la construcción y creación de políticas hídricas, de desarrollo institucional y desarrollo de recursos humanos, y legislación normativa y ejecutiva para crear un entorno que favorezca y permita el cumplimiento de las otras dos funciones en mención (Van Hofwegen y Jaspers, 2000).

Si bien el componente marino costero complementará el PNMRH, orientado a integrar estrategias y acciones en el ámbito nacional y regional para mejorar la generación de conocimiento e información, que permita definir el estado, la dinámica y el impacto que pueda tener el recurso hídrico en Colombia, cabe mencionar que el componente marino costero, en particular, está basado en un enfoque de gestión adaptativa que permitirá evaluar cambios en la condición y el progreso hacia el éxito en el cumplimiento de un objetivo de gestión y proporcionará la evidencia para el cambio o la continuación de la gestión (Holling y Walters, 1978; Ringold et al., 1996).

Los lineamientos de política ambiental marino costero, en Colombia, se enmarca en la PNAOCI y en la PNGIRH, las cuales orientan las estrategias de desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras, así como la sostenibilidad del recurso hídrico, y en particular, el recurso marino costero.

Bajo este marco normativo, se promovió desde la Dirección de Asuntos Marinos y Recursos Acuáticos - DAMCRA del MinAmbiente, la formulación del

componente marino costero del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico, reconociendo que a pesar de los esfuerzos y avances que se realizaron desde lo conceptual en el PNMRH, aún persiste una brecha importante entre el componente continental frente al componente marino costero, el cual requiere un mayor desarrollo y progreso, como una herramienta para la gestión integral del recurso hídrico y el ambiente marino costero, que promueva estrategias para la conservación, protección, prevención, restauración, uso y aprovechamiento sostenible del recurso hídrico marino y costero de una manera equitativa.

Si bien el PNMRH ya tiene unificados los elementos conceptuales válidos para los recursos hídricos tanto continental como marino, fue necesario ampliar el componente marino para el monitorio de estas aguas por sus especificidades. En ese sentido, la ruta de construcción del componente marino costero se desarrolló a partir de un proceso participativo, analítico y consultivo, basado en la comprensión de los problemas en la zona costera, que tienen un impacto en la gestión integrada del recurso hídrico marino y costero. Además, este abordó un diálogo desde las regiones con las autoridades ambientales y con la contribución de expertos y académicos con experiencia en investigación, gestión y monitoreo del recurso hídrico marino y costero.

De acuerdo con esto, la ruta de trabajo trazada para la formulación permitió realizar la contextualización institucional, normativa y de política que se complementó con referentes, antecedentes y conceptos técnicos básicos de monitoreo como

base del diseño metodológico que se construyó entre el equipo técnico del INVEMAR y DAMCRA y con ese fundamento, se propuso la visión a 2032 para integrar y conectar el ambiente marino y costero con la gestión integral del recurso hídrico y su objetivo general dirigido a proveer la información y el conocimiento sobre el estado, dinámica, impacto y tendencias del recurso hídrico marino y costero para soportar la toma de decisiones.

La formulación del componente marino costero se diseñó identificando las necesidades de monitoreo, partiendo de la línea base y de diferentes enfoques de evaluación, gestión ambiental y características claves del monitoreo del recurso hídrico marino costero, por medio de la revisión documental y la construcción colectiva con enfoques integrado, participativo y consultivo de sistemas y con base en impactos y resultados.

A través de las reuniones del equipo técnico de la DAMCRA y el INVEMAR se plantearon los posibles objetos de monitoreo. Estos son:

1. Salud ambiental.
2. Calidad de aguas y sedimentos.
3. Eutrofización costera.
4. Vertimientos.
5. Basura marina, plásticos y microplásticos.
6. Acidificación de los océanos.
7. Floraciones algales nocivas.
8. Hidrología costera.
9. Dinámica meteomarina.

Estos objetos de monitoreo constituyen la unidad de análisis donde se centran las actividades de monitoreo para obtener la información y conocimiento que soporten la toma de decisiones y la implementación de medidas de gestión que responderán a los diferentes compromisos multiescala (globales, nacionales, regionales y locales) que enfrentan las autoridades competentes. Los objetos de monitoreo considerados en el componente marino costero serán descritos en un documento anexo al PNMRH.

2.5 Flujo de la información y sistema de observación, medición y vigilancia

El enfoque y los conceptos básicos dan soporte a las orientaciones que proporciona el PNMRH para mejorar la cobertura y generación de conocimiento e información para la gestión integral del recurso hídrico en los ámbitos nacional y regional. Este propósito no es viable si no se garantizan las fases del flujo de la información desde el diseño del monitoreo en el marco del sistema de observación, medición, vigilancia, hasta la difusión de la información a la comunidad. En este documento, el monitoreo del agua es entendido como un sistema continuo de observaciones, de medidas y vigilancia para cumplir propósitos estratégicos definidos en un programa (Sors, 1987).

El esquema de la Figura 13 muestra las diferentes fases que deben surtir para que de una forma sistemática, coherente y articulada se garantice este flujo y, como resultado, se tenga acceso a información y conocimiento sobre el agua de manera oportuna y de calidad para la toma de decisiones.

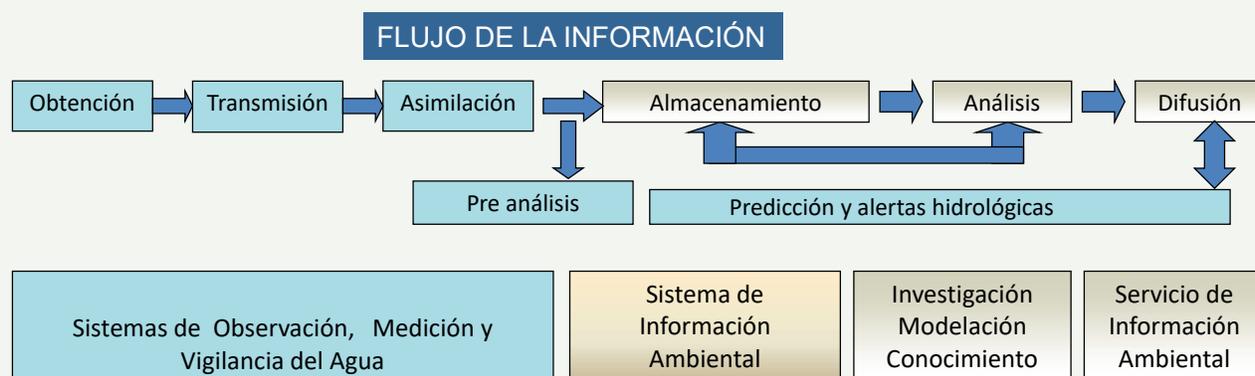
El flujo completo comprende los procesos relacionados con: a) el sistema de observación, medición y vigilancia; b) el sistema de información ambiental; c) la fase de análisis, modelación e investigación como soporte de la generación de información, conocimiento, indicadores y productos y d) difusión a través del servicio de información a la comunidad.

El PNMRH se centra en los incisos (a) y (b) e incluye el monitoreo asociado con los sistemas de alertas tempranas y predicciones hidrológicas.

Sistema de Observación, Medición y Vigilancia - SOMV

Se entiende que el SOMV ambiental del componente agua integra las acciones, herramientas, métodos,

Figura 13. Flujo de la información y acciones del sistema de observación, medición y vigilancia del agua



Fuente: elaboración propia

protocolos, tecnologías y procesos implementados por los actores involucrados en el monitoreo y seguimiento al recurso hídrico.

Existen dos maneras de realizar el levantamiento de información. La primera, y más común, es levantar la información a través de puntos y redes de monitoreo constituidas por estaciones hidrológicas, meteorológicas y ambientales relacionadas con el agua (IDEAM, 2006). La segunda, a partir de observaciones, por área o por volumen, de sensores remotos.

- En este sentido, el sistema de observación, medición y vigilancia incluye, entre otros:
- Diseño de la red (estaciones de monitoreo y puntos de medición).
- Equipos e infraestructura de observación (sistemas convencionales, manuales o directos, automáticos, telemétricos, satelitales, drones, entre otros).
- Áreas de observación y medición en función de los objetivos de monitoreo (variables, frecuencia, métodos, etc.).
- Mecanismos y protocolos de transmisión.
- Instrumentos y métodos de observación.
- Tratamiento de datos primarios y su ingreso al sistema de información (incluyendo análisis básico y control de calidad).

Dada la importancia que tienen las redes de monitoreo para el PNMRH, a continuación, se describen los aspectos más relevantes que deben tener estas.

Redes de monitoreo

La red corresponde a la expresión física de la capacidad de observación, medición y vigilancia de las autoridades ambientales competentes. El sistema se compone de las redes nacionales (IDEAM, INVEMAR, DIMAR) y las regionales correspondientes a las autoridades ambientales regionales, urbanas y de desarrollo sostenible, y las de otras entidades que operan redes con fines específicos.

Las redes son conjuntos de estaciones que se clasifican según su objeto de monitoreo. La red meteorológica hace seguimiento a variables atmosféricas, la red hidrológica a variables de cantidad y calidad de cuerpos de agua y la red oceanográfica a variables atmosféricas en áreas oceánicas y a variables del océano.

Una red hidrometeorológica es definida como un conjunto de estaciones en las cuales se hacen observaciones sobre variables hidrológicas y meteorológicas en función del tiempo, y son un medio para obtener información que soporte la toma de decisiones en lo concerniente a la administración

y manejo de los recursos hídricos (DNP, 2012).

La red debe generar información suficiente para la elaboración de estudios de comportamientos de las variables medidas en una región; por tal razón, uno de sus objetivos consiste entonces, en reducir la incertidumbre de los modelos que reproducen el comportamiento espacial y temporal de las mencionadas variables, así como las interrelaciones que puedan existir entre ellas (DNP, 2012).

El concepto de red se basa en la relación que se genera entre los datos de diferentes estaciones cuando se realizan análisis conjuntos de estos o análisis a partir de los cuales se genera información espacial. Adicionalmente, los datos de estaciones individuales son utilizados para realizar análisis temporales que son aplicables al área representativa de cada estación o a áreas de mayor extensión mediante ejercicios de modelación (DNP, 2012).

Tipos de redes, propósitos y cobertura

Los tipos de redes meteorológicas, hidrológicas y oceanográficas están definidos por su propósito, por las variables que registran y por su cobertura espacial. El área de cobertura define la red nacional, las redes complementarias regionales y las redes locales para usos específicos (DNP, 2012).

- Red de referencia nacional: tiene como función principal alimentar las estadísticas hidrometeorológicas con el fin de soportar los estudios regionales y nacionales que dan cuenta de los comportamientos de las diferentes variables a nivel nacional. Por ello, las estaciones que conforman la red nacional deben tener una larga serie de registros y ubicarse preferiblemente en zonas con poca influencia antrópica. Además, la red nacional debe integrar estaciones de monitoreo y puntos de medición que garanticen una amplia cobertura de observación, considerando las zonas hidrográficas como unidad mínima de análisis. La red debe ser operada y administrada

principalmente por el IDEAM y puede articularse con las AAC.

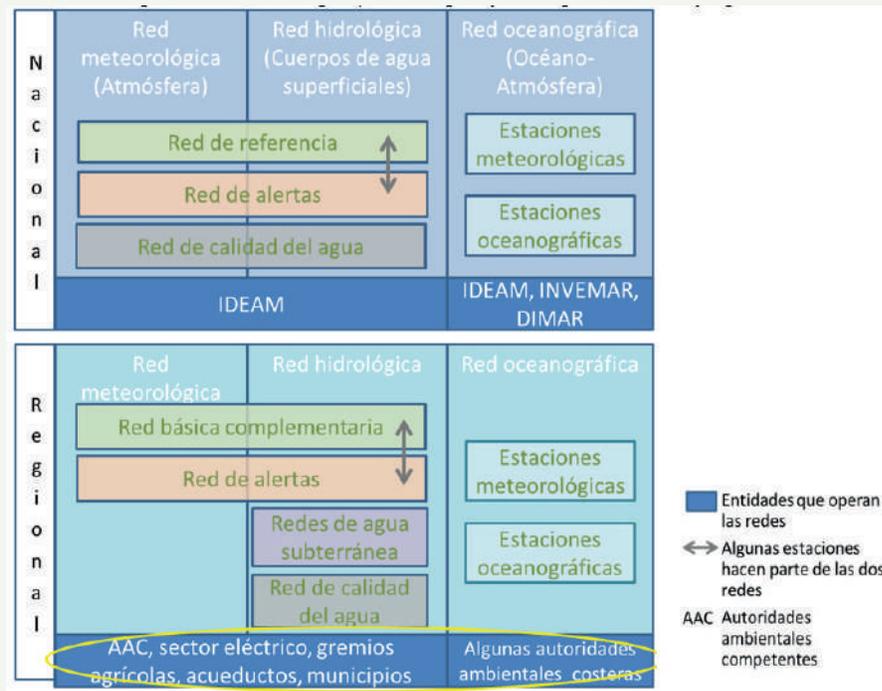
- Redes complementarias regionales: son operadas por las AAC con cobertura en sus áreas de jurisdicción e incluyen estaciones meteorológicas, hidrológicas, hidrogeológicas y de calidad del agua. Deben integrar estaciones de monitoreo y puntos de medición que procuren una amplia cobertura de observación en su jurisdicción considerando las subzonas hidrográficas como unidad mínima de análisis, sin que esto impida aumentar la instrumentalización a niveles hidrográficos de mayor detalle, de acuerdo con sus necesidades.

Entre sus propósitos se encuentran: cuantificar y administrar el recurso hídrico, hacer seguimiento a la implementación de los instrumentos de la gestión integral del recurso hídrico, planificar y ordenar el recurso hídrico, monitorear la calidad del recurso hídrico, gestionar los riesgos hidrometeorológicos y orientar la definición de medidas para la adaptación al cambio climático, teniendo en cuenta para tal fin, la zonificación hidrológica e hidrogeológica definida por el IDEAM y MinAmbiente.

En la Figura 14 se ilustran los tipos de redes descritos en los ámbitos nacional y regional, así como las entidades que las operan.

- Redes locales para usos específicos: se definen para brindar el apoyo a la ejecución de programas regionales, nacionales e internacionales por parte del IDEAM, INVEMAR y otros, en su papel como autoridad hidrometeorológica nacional. Entre estos programas se encuentran los siguientes:
 - Componente nacional del Sistema de Vigilancia Meteorológica Mundial, VMM.
 - Componente nacional del Sistema Mundial de Observación del Nivel del Mar, GLOS.
 - Componente nacional del Sistema Mundial de Observaciones Climáticas, SMOC, y Variabilidad Climática, CLIVAR.

Figura 14. Redes hidrológicas, meteorológicas y oceanográficas nacional y regionales



Fuente: DNP (2012)

- Componente nacional del Programa Estudio Regional del Fenómeno El Niño, ERFEN
- Red de alertas de eventos hidrometeorológicos regionales.

Las AAC a nivel regional y urbano deberán establecer redes de monitoreo específico cuando así lo hayan identificado y así lo amerite una problemática ambiental particular de su jurisdicción o así lo defina un instrumento de planificación, ordenamiento o administración del agua, que busque prevenir, mitigar o corregir algún riesgo de contaminación, sequía, inundación o cualquier otra necesidad de investigación o seguimiento sobre el impacto al agua o asociado a ella. Las redes específicas podrán considerar la integración de datos e información producto del monitoreo participativo realizado por sectores privados o por la sociedad civil.

Las redes específicas que se encuentran ubicadas en zonas de influencia de proyectos específicos y obedecen a estudios sobre zonas particulares con necesidades de monitoreo puntuales, son establecidas con el propósito de evaluar impactos

o el desarrollo de estudios e investigaciones de orden local; por ejemplo, la ANLA ha venido trabajando sobre propuestas al respecto para hacer seguimiento a sus proyectos licenciados, a partir del monitoreo que realizan, de forma privada, los beneficiarios de dichos proyectos licenciados.

Una característica que define la cobertura de las estaciones es la representatividad de sus observaciones, que se entiende como el grado en que ellas describen la variable estudiada para un propósito específico. La representatividad no es una característica fija de las observaciones, sino que depende de sus aplicaciones; ellas definen aspectos como el instrumento y el intervalo de medición, así como las escalas temporales y espaciales más apropiadas en cuanto a los períodos de agregación, la densidad de estaciones y la resolución espacial. Los aspectos espaciales citados dependen en gran medida del área de estudio; es así como para áreas de estudio mayores, son suficientes bajas resoluciones, mientras que las áreas de estudio más pequeñas requieren resoluciones de mayor detalle

que permitan identificar variaciones espaciales (ibídem).

A manera de ejemplo, en relación con el medio marino y costero, es pertinente considerar, entre otros, los criterios presentados en la Figura 15.

La red de monitoreo de la calidad de aguas marinas y costeras – REDCAM está diseñada estratégicamente por estaciones de vigilancia permanente de la calidad de las aguas costeras del país. Su diseño busca evaluar los cambios relacionados con la calidad del agua, en función del régimen hidrológico de las principales cuencas que drenan al mar. Sin embargo, se requiere el diseño y emplazamiento de las redes regionales y locales (dependiendo de la magnitud de la problemática ambiental) que permita evaluar los cambios de la calidad de los cuerpos de agua o de las actividades humanas puntuales de contaminación al mar.

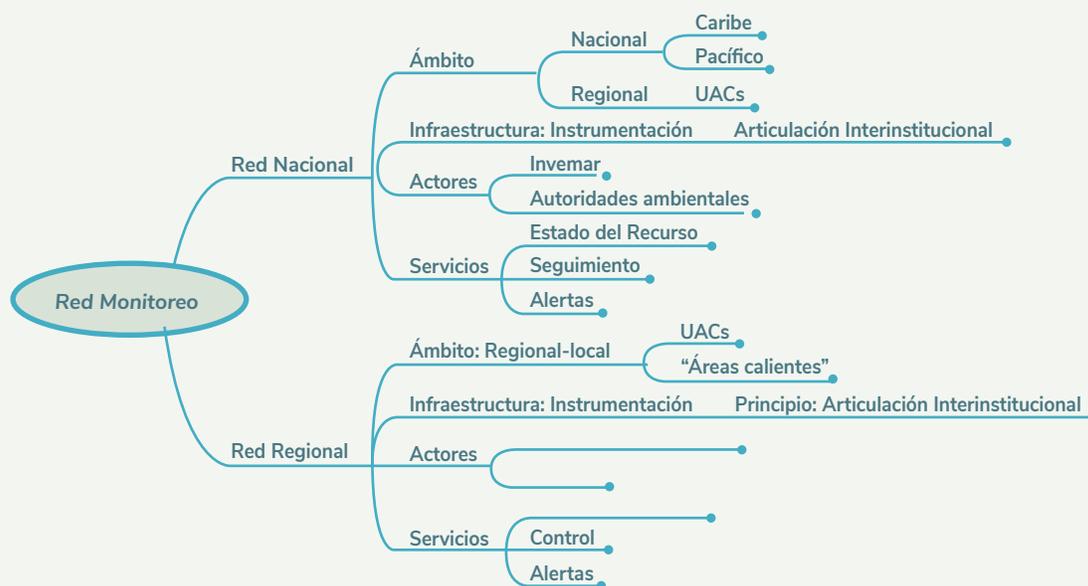
La utilización de las estaciones de dicha red debe permitir evaluar la variabilidad espacial y temporal de la calidad del recurso y el impacto de las principales actividades y/o fuentes de contaminación (como es el caso de las descargas/vertimientos que se hacen

en aguas marinas). El diseño de las mencionadas redes regionales debe considerar, la cartografía básica y temática disponible, la delimitación de sistemas hídricos representativos en las Unidades Ambientales Costeras - UAC, las características hidrológicas e hidroquímicas de los cuerpos de agua representativos, los sitios o estaciones de muestreo actuales, el inventario de sitios de captación, el inventario de descargas o vertimientos y las características de dichos vertimientos y sus potenciales impactos.

Es oportuno orientar las evaluaciones hacia la comprensión de la dinámica de los procesos de acidificación del océano y hacia las predicciones de los efectos en los ecosistemas marinos por el cambio global, así como hacia los efectos de la variabilidad climática a nivel regional, los cuales pueden establecerse teniendo en cuenta la condición de la cantidad y calidad las aguas superficiales que drenan desde el continente hacia las áreas costeras y la calidad de las aguas marinas adyacentes.

Cuando el objetivo del monitoreo es de control y vigilancia, las estaciones deben estar ubicadas donde se localizan los proyectos que hacen uso

Figura 15 Criterios técnicos básicos para la articulación de la red nacional y redes regionales de monitoreo de recurso hídrico para el componente marino.



del recurso hídrico (ejemplo sitios donde se hacen vertimientos) o donde se presentan afectaciones por fenómenos naturales (ejemplo sitios sometidos a descarga/drenaje del continente). Para el monitoreo de los vertimientos debe determinarse la zona de mezcla sobre la fuente receptora. Fuera de la zona de mezcla, se determina el cumplimiento de los criterios y objetivos de calidad. En lo relacionado con fenómenos naturales es fundamental instalar puntos de observación en aguas adyacentes de las áreas afectadas, para determinar los niveles de alerta con la mayor anticipación posible y tomar las medidas de manejo requeridas.

Derivado de lo anterior, se requiere unificar y estandarizar los procedimientos operativos (en los correspondientes protocolos) para las actividades de planeación, campo, laboratorio, análisis de resultados y reportes al SIRH y al Sistema de Información Ambiental Marina- SIAM. Por lo anterior, las aplicaciones en las que se usan los datos, así como la extensión del área de estudio, definen la densidad de estaciones necesaria, lo cual hace que, en algunos casos, la densidad de la red nacional sea suficiente para algunos usos, mientras que para otros sea necesario utilizar datos de redes regionales las cuales deben tener mayor densidad. Los tipos de datos e información generados por las redes hidrológicas pueden variar en un amplio rango. La necesidad de datos específicos está influenciada por factores como los niveles de desarrollo socioeconómico, los elementos del entorno físico (clima, topografía, abundancia o escasez de agua, entre otros) y los efectos de las actividades humanas sobre el ambiente. Sin embargo, una actividad básica de todos los servicios hidrológicos es suministrar información sobre la cantidad de agua, su variabilidad y los valores extremos (ibídem).

Otra diferencia importante de las necesidades de datos está dada por el uso para el conocimiento y para la administración del recurso hídrico o para la predicción de fenómenos extremos. Si bien las variables necesarias son similares para los dos usos, su registro tiene algunos requisitos diferentes. Por un lado, para la predicción se requiere sobre

todo que la información sea oportuna, fácil de comprender y exacta, de manera que se puedan tomar decisiones rápidas; en cambio la alta precisión de la información o la recopilación permanente de los datos tiene menos importancia. Estas diferencias entre las necesidades de datos para evaluar los recursos y para elaborar predicciones y alertas implica contar con diferentes instrumentos de transmisión y mecanismos de difusión de los datos (ibídem).

Estaciones de monitoreo y puntos de medición

El sistema de observación, medición y vigilancia integra las redes de monitoreo temático de variables específicas, tales como las de calidad de agua, incluyendo las de bioindicación, aguas subterráneas, isotopía y sedimentos.

Los tipos de estaciones de monitoreo o puntos de medición dependen del propósito que se tenga y se clasifican dependiendo de las variables monitoreadas. A continuación, se mencionan algunos tipos de estaciones, según lo definido en la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos- OMM N° 8. Edición de 2008, actualizada en 2010:

- Estaciones meteorológicas: en estas se realizan mediciones de parámetros atmosféricos y pueden estar compuestas por estaciones pluviométricas, climatológicas, agrometeorológicas, sinópticas y aerológicas. Su propósito principal es el estudio y seguimiento del clima.
- Estaciones pluviométricas: en estas se hace la medición de la precipitación con registros continuos de datos, usando para ello pluviógrafos u observaciones directas, efectuadas una vez al día en un pluviómetro.
- Estaciones climatológicas: en estas se miden, además de la precipitación, variables meteorológicas como la temperatura, la humedad del aire, el brillo solar, el viento

(dirección, recorrido y velocidad), la evaporación, entre otros, con el propósito de obtener las variables usadas para el seguimiento y estudio del clima.

- Estaciones agrometeorológicas: son estaciones climatológicas complementadas con la medición de variables del suelo, como la humedad o la tensión de poros para efectos de estudios agrológicos; estas prestan servicios a la agricultura, horticultura, ganadería, silvicultura, edafología, entre otros.
- Estaciones sinópticas: en estas se realizan observaciones y mediciones de la temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos, precipitación y fenómenos atmosféricos principalmente. Estas están localizadas, usualmente, en los aeropuertos del país.
- Estaciones oceanográficas: tienen como objetivo hacer el seguimiento del nivel, la temperatura superficial, la salinidad y algunos otros parámetros físicos del mar.
- Estaciones hidrológicas: en estas se recolectan datos de niveles y aforos de caudal a fin de conocer el comportamiento de un cuerpo de agua en particular; los caudales se pueden obtener en forma directa o indirecta.
- Estaciones sedimentológicas: en algunas estaciones se hacen muestreos de sedimentos, a partir de los cuales se obtienen la concentración y el transporte de estos en suspensión.

Sistema de Información Ambiental-SIA

La caracterización apropiada del ciclo hidrológico permite no solamente dar respuesta a la necesidad general de cuantificar la oferta y la demanda del recurso hídrico, sino también analizar y hacer seguimiento a las condiciones de calidad y contaminación del agua, a la variabilidad climática e hidrológica y a la ocurrencia de valores extremos causantes de amenazas naturales por crecientes, deslizamientos o sequías, abriendo un espacio funcional a la gestión del riesgo.

El PNMRH considera el diseño de la red en sus ámbitos nacional y regional para conocer los cambios naturales y cambios inducidos por los seres humanos en los recursos hídricos. Los sistemas de vigilancia deberán tener presentes dichos cambios, con el fin de poder analizar el sistema hidrológico, predecir la disponibilidad de agua y gestionar eficaz y efectivamente los recursos (OMM, 2012).

La información debe ser tenida en cuenta por los sectores productivos, tanto en el ámbito público como privado, para elaborar estudios de impacto ambiental de sus actividades y planes de manejo ambiental que reduzcan impactos ambientales negativos. De la misma forma, el tener acceso a la información ambiental resulta de utilidad para las comunidades y organizaciones de la sociedad civil.

Con el fin de garantizar el flujo de la información, luego de la obtención de datos, es necesario su almacenamiento, su transmisión y su análisis, así como la comunicación y difusión de la información producida. Así se contribuye a la apropiación y conciencia social en relación con la gestión del recurso hídrico.

En este sentido, es pertinente hacer uso de plataformas de integración tecnológica de información que sean accesibles a los equipos técnicos de las instituciones que monitorean el agua, así como para otros usuarios de la información interesados en acceder y hacer uso del conocimiento generado. Esta apropiación y desarrollo de tecnología y la innovación para dinamizar el conocimiento del agua permitirá gestionar y disponer los datos de monitoreo para acceder a la información.

Para tal fin, será necesario el diseño, desarrollo e implementación de plataformas de integración tecnológica de información que permitan tener datos consolidados, ordenados, validados y dispuestos en diferentes tipos de reportes o servicios de consulta para convertirlos en información y luego transformarlos en conocimiento.

Dichas plataformas tecnológicas o sistemas de información podrán integrar todo un portafolio de servicios de información ajustado a las

necesidades, objetivos y propósitos de monitoreo planteados por cada institución competente. De igual forma, buscarán la generación de servicios de consolidación, consulta y verificación de datos e información, así como servicios de análisis de información y servicios de interoperabilidad con otros sistemas de información sobre el agua y el ambiente.

Bajo esta lógica, estos sistemas podrán integrar servicios de información tales como gráficos para visualizar las series históricas de niveles de determinado cuerpo de agua, representaciones multianuales de estas, curvas de duración de caudal, gráficos de valores máximos, medios y mínimos de series históricas, diagramas de correlación, indicadores para la gestión, administración y toma de decisiones relacionadas con el manejo del agua, entre otras aplicaciones, tales como la integración de información satelital o simplemente la consulta de datos o su validación para generar confiabilidad sobre los mismos.

En este orden de ideas, los sistemas de información también se constituyen en una herramienta útil para llevar a cabo estrategias de comunicación e involucramiento de actores, donde se generen contenidos informativos, se articulen acciones de monitoreo participativo y se conformen canales virtuales de divulgación.

Por lo tanto, la consolidación y avance del PNMRH, así como de los sistemas de información o plataformas de integración tecnológica desarrolladas por las instituciones competentes en materia de monitoreo, serán coherentes con los desarrollos conceptuales para el Sistema de Información Ambiental de Colombia- SIAC3 y el componente del SIA, es decir que deberán tener en cuenta entre otros, la compatibilidad e interoperabilidad con el SIRH y el SIAM.

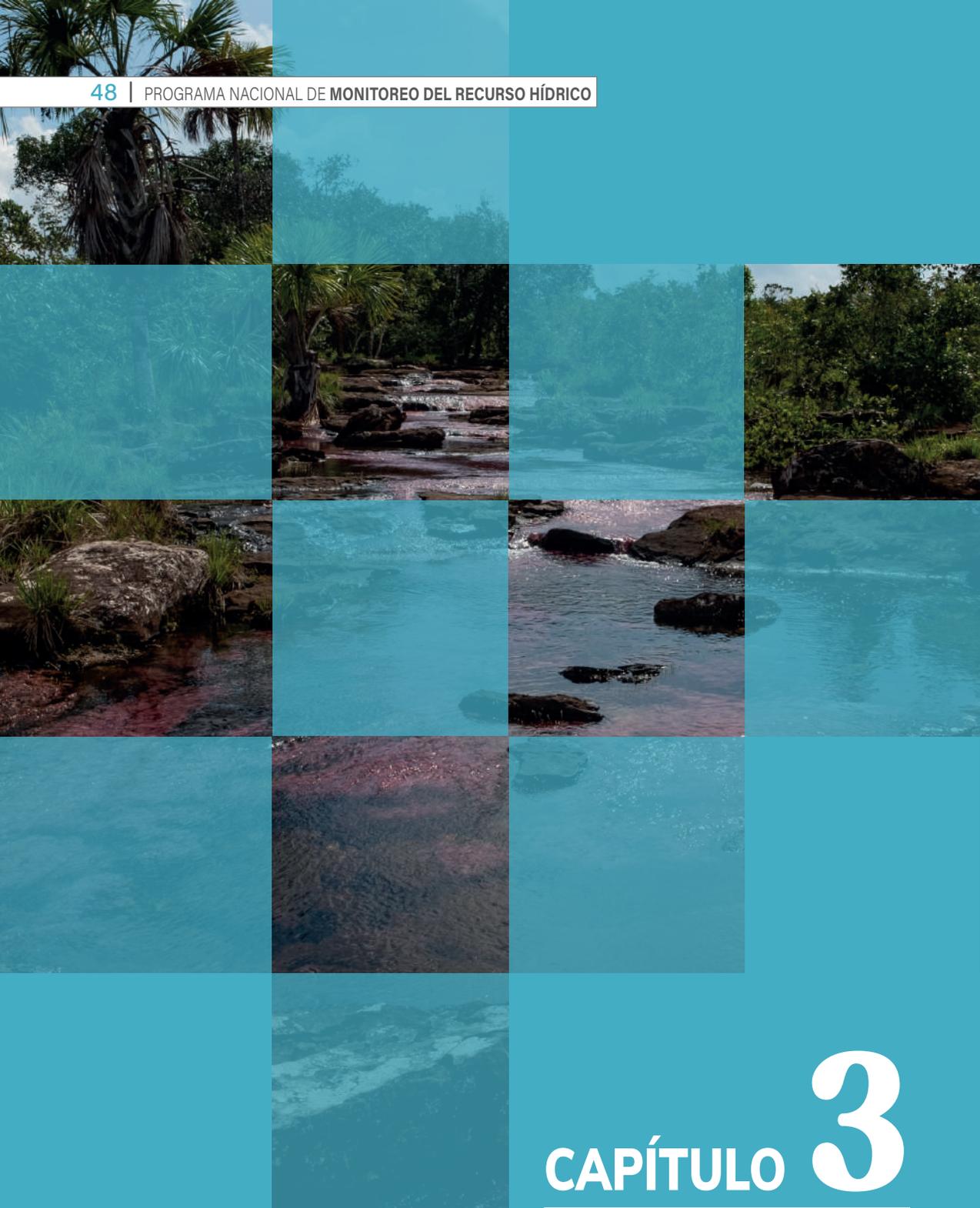
En este sentido, el MinAmbiente, el IDEAM y las AAC se han encargado desde el 2013 de mantener, operar y cargar datos al SIRH, así como al Observatorio Colombiano de Gobernanza del Agua- OCGA, lo cual ha logrado que estas herramientas puedan ser consultadas por el público en general.

El SIRH cuenta con una herramienta tecnológica desarrollada por MinAmbiente y el IDEAM, donde las autoridades ambientales cargan en módulos de información datos relacionados con el registro de usuarios del agua, el inventario de cuerpos de agua y los resultados de puntos de monitoreo de calidad y puntos de monitoreo de agua subterránea dentro de su jurisdicción. Este sistema puede interoperar con plataformas tecnológicas o sistema de información propios de las autoridades ambientales, o puede cubrir la ausencia de estos en el caso que no existan para facilitar el proceso de consolidación, organización y disposición de datos. El SIRH cuenta con servicios sistematización de datos en línea, a través de formularios orientados a consolidar entre otros aspectos, los datos de monitoreo del agua que sean generados por las distintas instituciones competentes en el tema.

A futuro el SIRH buscará crecer en servicios computacionales para el procesamiento y visualización estadística y espacial de datos, que puedan facilitar el acceso a información para soportar decisiones, la consulta al público general y facilitar la participación en la gestión del agua.

Así mismo, propenderá por articular los datos con los demás subsistemas del SIAC y sistemas de información externos, con el objetivo de desarrollar consultas, reportes, estadísticas, análisis de datos e información cartográfica que den cuenta del estado, impacto y tendencias del recurso hídrico como parte del flujo de información y como resultado del proceso de monitoreo de este.

3 El Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC "Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucradas en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible". http://www.siac.gov.co/siac_general



CAPÍTULO 3

ANÁLISIS TÉCNICO DEL MONITOREO DEL AGUA EN COLOMBIA

El IPNMRH parte del reconocimiento de una problemática asociada a las restricciones y limitaciones para tener un monitoreo integral que dé cuenta del estado y dinámica del agua en Colombia. En este sentido, se han identificado grandes grupos de problemas que constituyen criterios para orientar las estrategias de este programa. Este aparte sirve para vislumbrar con precisión la brecha que separa el estado actual de un futuro deseado del monitoreo, entendido éste como un proceso permanente y sistemático de captura y procesamiento de información generada a través de la observación, medición y vigilancia del agua, para resolver preguntas estratégicas pertinentes para la planificación, administración, toma adecuada de decisiones y buena gobernanza del agua. Esto supone un flujo de información que garantice salidas oportunas y un riguroso control de calidad.

3.1 Primeras acciones de monitoreo del agua en Colombia

El monitoreo del agua con alguna significancia se inicia en Colombia hacia finales de la década de 1930 con la observación de la precipitación y los niveles en algunos cuerpos hídricos, para consolidarse como un proceso sistemático de levantamiento de información solo hasta finales de la década de 1960. Al monitoreo de datos hidrometeorológicos le siguieron las mediciones de sedimentos en la década de 1970 y actividades regionales para el monitoreo del agua subterránea, especialmente en el Valle del Cauca y en la sabana de Bogotá (EPAM, 2011).

A finales de la década de los 60, comienza el crecimiento de la red nacional administrada inicialmente por el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología- HIMAT. Esta entidad se creó en 1969 y recibió las redes hidrológica

y meteorológica operadas hasta entonces por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. El HIMAT creó un ambiente técnico de alto nivel, con la adopción de estándares y protocolos internacionales para cuya implementación realizó un programa de entrenamiento de técnicos y promovió la especialización de profesionales en el exterior. En los años 70 se realizó el diseño e implementación de la red hidrometeorológica actual con el acompañamiento de expertos internacionales. La red nacional fue operada por HIMAT entre 1978 y 1992 (ibidem).

La Ley 99 de 1993 creó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, y le asignó la función de operar la red hidrometeorológica que estaba a cargo del HIMAT. En el artículo 17 de esta ley se crea, organiza y definen las funciones del IDEAM.

La misma ley creó el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis – INVEMAR, cuya misión primordial es la investigación ambiental básica y aplicada de los recursos naturales renovables y el medio ambiente y los ecosistemas costeros y oceánicos de los mares adyacentes al territorio nacional. El INVEMAR emitirá conceptos técnicos sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, y prestará asesoría y apoyo científico y técnico al Ministerio, a las entidades territoriales y a las Corporaciones Autónomas Regionales” (Artículo 18 de la Ley 99 de 1993).

Hasta ese momento, en el ámbito marino en particular para la contaminación marina en Colombia, se habían realizado esfuerzos importantes en investigación, con estudios de evaluación ambiental y diversos trabajos en algunas zonas costeras de interés. Sin embargo, estos temas se habían tratado de forma fragmentada y muchas veces la información no era sistemática, permanente ni estaba actualizada. Por lo tanto, desde 1996 surgió una iniciativa del INVEMAR para vigilar y controlar la contaminación marino-costera del país, que se consolidó como la REDCAM en el año 2000; las actividades de monitoreo se vienen ejecutando exitosamente desde el año 2001 en todo el litoral

colombiano, desde la península de La Guajira (Caribe) hasta Nariño en la frontera con Ecuador (Pacífico), incluido el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, con la participación activa de las entidades competentes en cada uno de los 12 departamentos costeros, para garantizar la continuidad técnica y operativa del monitoreo del recurso hídrico marino que se alimenta con datos el sistema de información de la REDCAM.

El Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia -SIMAC- se constituyó a partir de la experiencia y participación del INVEMAR en el programa internacional “Caribbean Coastal Marine Productivity” en 1992, en el cual se contaba con una estación de monitoreo en la bahía de Chengue (Parque Nacional Natural Tayrona) y en 1998 el INVEMAR dio inicio al SIMAC con la colaboración de varias entidades nacionales como el MinAmbiente, Colciencias, Ceiner, Coralina, PNNC, Universidad Nacional, Universidad del Valle y con el apoyo de UNEP-RCU/CAR. El SIMAC fue creado como un programa de monitoreo a largo plazo con el propósito de generar información sobre la salud y la dinámica de los arrecifes coralinos de Colombia.

Adicionalmente, en respuesta a las llamadas de la Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima (Ginebra, 1990), la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) creó el Sistema Mundial de Observación de los Océanos -GOOS- en marzo de 1991. En Colombia, a partir del 2009 el INVEMAR administra 4 estaciones meteorológicas para generar series de tiempo de variables meteorológicas que puedan aportar a mejorar escenarios, modelos o pronósticos en el estudio del ascenso del nivel del mar y la variabilidad climática, para aportar a la toma de decisiones en cuanto a medidas de adaptación al cambio climático para las zonas costeras y oceánicas.

Evaluaciones nacionales y regionales del agua

La evaluación integral realizada en los Estudios Nacionales del Agua- ENA, publicados por el IDEAM

en 2010, 2014, 2018 y 2022, permitió identificar necesidades de monitoreo para diferentes temáticas que requieren una mejor representatividad y cobertura en zonas específicas o mayor resolución espacial y temporal para la planificación y gestión del agua en los niveles regional y local. En la publicación Lineamientos conceptuales y metodológicos para la Evaluación Regional del Agua- ERA (IDEAM, 2013), se identifica la necesidad de un “programa de monitoreo regional” con propósitos y alcances claros, articulado con el PNMRRH.

3.2 Variables monitoreadas en Colombia

El monitoreo de las variables incluye diferentes aspectos: por un lado, es reconocida la importancia de realizar mediciones y observaciones en cuerpos de agua superficiales para conocer sus dinámicas de flujo y grado de afectación por presencia de cargas contaminantes (niveles, caudales, transporte y concentración de sedimentos, variables de calidad del agua), aguas subterráneas (niveles, caudales y variables de calidad), aguas marino costeras (niveles y variables de calidad) y ecosistemas especiales (humedales, páramos, etc.). Por otro lado, estas

variables deben integrarse a un monitoreo de variables meteorológicas tales como: precipitación, evapotranspiración, brillo solar, humedad relativa, temperatura, etc.

Monitoreo de aguas superficiales continentales y componente atmosférico

En relación con el monitoreo de aguas superficiales continentales y el componente atmosférico, actualmente el IDEAM opera y mantiene una red de 2682 estaciones de las cuales 730 son hidrológicas (27%), 1304 son pluviométricas (49%) y 648 son climatológicas (24%).

Esta red es operada por profesionales y técnicos en 11 áreas operativas que cubren todo el país. 288 de estas estaciones son automáticas (10.7%) y el resto son convencionales. El 22% de las estaciones climatológicas y el 9% de las hidrológicas tienen transmisión satelital y se utilizan para pronósticos y alertas (ejemplos de las estaciones puede verse en la Figura 16), la ubicación y su distribución espacial de las estaciones operadas por el IDEAM se visualiza a continuación en las Figura 17, Figura 18, Figura 19 y en la Figura 20.

Figura 16. Ejemplo de estaciones administradas por el IDEAM
(izquierda) estación limnigráfica; (Derecha) estación climatológica



Fuente: (IDEAM, 2015)

Figura 18. Estaciones de la red hidrometeorológica, convencionales y automáticas



Fuente: (IDEAM, 2015)

La información generada por las estaciones convencionales tiene un rezago de un año que corresponde al tiempo requerido para procesar, validar e integrar los datos a las bases de datos del IDEAM. En términos de continuidad y rezago se encuentran los indicadores relacionados en la Tabla 1, para los diferentes parámetros medidos en estaciones convencionales (Econometría Consultores, DNP, 2011).

Se identifica la necesidad de una plataforma de integración tecnológica en el IDEAM para integrar la información de las estaciones automáticas con procesos de control de calidad junto a las

provenientes de radares o sensores remotos. La herramienta tecnológica para la captura de datos requiere ser actualizada por un aplicativo que intercambie información en línea con las bases de datos centralizadas y los sistemas de consulta en ambiente web. En el caso de las estaciones automáticas (hidrometeorológicas de superficie, radiosondas, sensores remotos), los registros de las mediciones son almacenados y transmitidos a la base de datos central con diferente periodicidad.

Una vez se obtiene la información, se lleva a cabo el análisis de consistencia y homogeneidad

Tabla 1. Rezago y continuidad según parámetro - Promedio del rezago para todos los estadígrafos y frecuencias de cada parámetro – Sólo incluye estaciones no suspendidas del IDEAM

Parámetro	Promedio de rezago (meses)	Promedio de continuidad (%)
Brillo solar	3.5	70.3
Evaporación	3.3	74.7
Humedad relativa	2.7	72.4
Nubosidad	2.6	61.3
Niveles	11.5	86.5
Punto de rocío	2.0	77.6
Precipitación	2.2	89.1
Caudales	12.0	88.3
Sedimentos concentración	14.1	78.2
Sedimentos transporte	14.2	89.0
Temperatura ambiente	3.3	75.7
Tensión del vapor	2.0	77.1
Velocidad del viento	6.0	52.1
Recorrido del viento	4.9	77.0

Fuente: Inventario de información suministrado por el IDEAM y cálculos de Econometría Consultores (Econometría Consultores, DNP, 2011)

Tabla 2. Principales usos de la información hidrometeorológica para la toma de decisiones

Sector o actividad	Decisiones largo plazo	Decisiones mediano plazo	Decisiones de coyuntura
Acueducto	Uso eficiente del recurso agua	Fuente de suministro a utilizar	Señales de alarma
Alcantarillado	Diseño de sistemas de drenaje de agua lluvia		
Energía eléctrica	Uso eficiente del recurso agua	Generación térmica o eléctrica	
Transporte	Localización de la infraestructura	-	
Agricultura	Uso eficiente de recursos agua. Localización.	Definición de cultivos y zonas	
Salud	Focalización de medidas de prevención.	Programación jornadas preventivas	
Educación	-	Ajustes al calendario escolar	
Prevención de desastres	Diseño de infraestructura para protección	-	

Fuente: Econometría Consultores, DNP (2011)

de los datos. En algunos casos, se almacena la información básica en los subsistemas del SIAC correspondientes, pero también existen datos que se recolectan directamente para ser utilizados en investigaciones y estudios, los cuales no quedan sistematizados, salvo en los cuadros de resultados de los documentos finales publicados (Ibidem).

Encuanto al uso de la información hidrometeorológica los principales usos están relacionados con las decisiones de inversiones de largo plazo como la construcción en proyectos de infraestructura, y en decisiones operativas de corto y mediano plazo. En la Tabla 2 se resumen los principales usos

identificados de la información hidrometeorológica para la toma de decisiones.

Otros usuarios importantes de información son las universidades y centros de investigación, tanto públicos como privados, que tienen líneas de investigación en el área ambiental y que, en muchas ocasiones son, a su vez, generadores de información ambiental (ibídem).

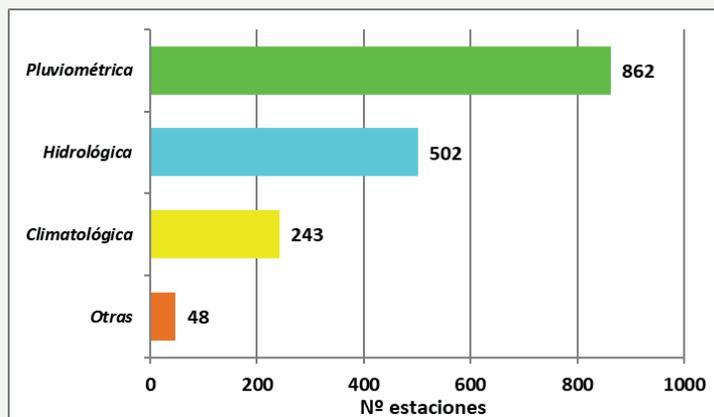
Además de los anteriores, las autoridades ambientales son un usuario importante de la información, tanto en temas de planificación, administración o de evaluación y seguimiento, como en su relación con los particulares, como se ilustra en la Figura 21.

Figura 21. Requerimientos de información ambiental para autoridades ambientales



Fuente: Econometría Consultores, DNP (2011)

Figura 23. Red regional. Distribución por categoría de estaciones



Fuente: IDEAM, 2016 complementado.

La red nacional cuenta con un catálogo de estaciones centralizado en el IDEAM, lo cual facilita el acceso a la información sobre su estado. Por otro lado, no existe un catálogo de estaciones de redes regionales para este mismo propósito. Las pocas estaciones que aparecen registradas datan de 20 a 30 años atrás. Por otra parte, no todas las fuentes regionales de información existentes son sistemáticas ni se cuenta con las herramientas de integración informática para la consolidación y acceso a la información.

En la Figura 22 y Figura 23 se pueden apreciar algunas características de la red regional compuesta por un poco más de 2000 puntos de muestreo. Se observa que, siguiendo el patrón de la red nacional, la red regional también está muy concentrada en la macrocuenca Magdalena-Cauca. Se cuenta con redes básicas hidrometeorológicas en las AAC: CAR, CVC, CORPOCHIVOR, CARDER, CORNARE, CORPOCALDAS, y CORANTIOQUIA; y redes de aguas subterráneas en: CORALINA, CAR, CORPOURABÁ, CARSUCRE, CVC, CARDER, CRQ.

MinAmbiente suscribió un convenio con el IDEAM para apoyar el diseño de las redes hidrometeorológicas básicas en las jurisdicciones de las AAC. Este convenio fue desarrollado en tres fases, comenzando desde el año 2012 y finalizando en 2015. Dicha propuesta de diseño de redes hidrometeorológicas se sintetiza en la Tabla 3, donde también se establecieron los costos globales para su implementación. Los objetivos de este convenio fueron:

- Describir las características básicas de la red hidrometeorológica emplazada en el área de la correspondiente jurisdicción.
- Realizar el levantamiento de los requerimientos de información de monitoreo hidrometeorológico.
- Identificar objetivos de monitoreo complementarios en el contexto de la operación de la red básica nacional.
- Elaborar una propuesta concertada con cada Corporación para el diseño de una red hidrometeorológica complementaria.

Tabla 3. Propuesta de rediseño de redes hidrometeorológicas 33 autoridades ambientales

AUTORIDAD AMBIENTAL	AÑO	Áreas prioritarias de monitoreo hidrometeorológicos (APMH)	Total número de estaciones	Estaciones limnigráficas automáticas	Estaciones climatológicas automáticas	Estaciones Pluviométricas automáticas	Valor costo total
CORTOLIMA	2012	13	29	13	16		\$ 1,907,083,906
CORPONOR	2012	31	50	24	16		\$3.840.212.476
CORPOGUAVIO	2012	2	8	2	6		\$ 549,019,968
CORPOGUAJIRA	2012	29	42	19	23		\$ 2'684.211.934
CORPOCHIVOR	2012	25	10	6	2	2	\$ 785,000,000
CORPOCESAR	2012	32	22	10	12		\$1.255.500.000
CDMB	2012	37	15	8	5	2	\$872.500.000
CAS	2012	23	23	9	8	6	\$1.292.500.000
CORPAMAG	2012	33	39	33	6		\$2'330.930.302
CORPOBOYACA	2012	146	50	24	13	13	\$2.806.500.000
CAM	2013	26	26	9	17		\$1.443.318.356
CAR	2013	3	8	2	6		\$ 63,930,452
CARDER	2013	6	53	40	13		\$3.906.259.354
CARDIQUE	2013	12	21	16	5		\$ 755,628,207
CARSUCRE	2013	5	18	16	2		\$ 1.137.508.852
CODECHOCO	2013	26	36	31	5		\$ 2,406,044,150
CORANTIOQUIA	2013	20	44	13	31		\$ 2,786,970,885
CORNARE	2013	5	22	4	18		\$1'393.938.172
CORPOCALDAS	2013	9	41	10	11	20	\$3,034,375,138
						*Calidad	
CORPOMOJANA	2013	1	21	14	7		\$ 1.423.564.520
CORPOLURABA	2013	9	34	11	23		\$1'393.938.172
CRA	2013	3	12	5	7		\$ 504,016,234
CRQ	2013	1	6	3	3		\$296.743.359
CSB	2013	6	16	8	8		\$ 813,563,065
CVS	2013	6	38	19	18	1	\$ 2,145,663,058
CDA	2015	4	14	7	7		\$ 1.838.006.099
CORALINA	2015	1	10	2	4		\$ 895.981.682
CORMACARENA	2015	14	12	10	2		\$ 1759.399.506
CORPOAMAZONIA	2015	22	12	6	6		\$ 1.781.087.742
CORPONARIÑO	2015	4	7	4	3		\$ 1.036.266.447
CORPORINOQUIA	2015	23	8	3	5		\$ 901.776.014
CRC	2015	5	24	21	3		\$ 3.513.371.704
CVC	2015	22	10	4	6		\$ 1.489.684.596

Fuente: MinAmbiente (2016).

Monitoreo de aguas subterráneas

En Colombia, como en la mayoría de los países latinoamericanos, el monitoreo de aguas subterráneas fue concebido originalmente, pensando en procesos de explotación del recurso hídrico; por ende, el monitoreo ha sido parcial y ocasional. De acuerdo con el Programa Nacional de Aguas Subterráneas-PNASUB (MinAmbiente - IDEAM, 2014), la explotación de agua subterránea en el país se inicia a partir del año 1950 con el fin de plantear soluciones de abastecimiento de agua potable en algunas poblaciones. En los años 90, se realizaron evaluacio-

nes hidrogeológicas en el Valle del Patía, la sabana de Bogotá, el Urabá antioqueño, los departamentos del Huila, Cesar, Tolima, Magdalena, Sucre, Córdoba y la isla de San Andrés.

Los estudios realizados se han enfocado al reconocimiento de las unidades acuíferas, definición de regímenes de flujo, determinación de la calidad del agua y caracterización de parámetros hidrogeológicos para conocer las condiciones de almacenamiento, caudal, transmisividad y capacidades específicas de los pozos en las unidades acuíferas.

Figura 24. Densidad de puntos de la red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas.



Fuente: IDEAM (2015)

Tabla 4. Red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas

Sistema acuífero	Unidad Hidrogeológica de interés UHI	Cantidad de pozos seleccionados
Media Guajira	Cuaternario y Monguí	10
	Fonseca, Monguí, Ranchería y Oca	12
San Andrés	San Andrés y San Luis	22
Valle del Cauca	Unidad A	11
Glacis del Quindío	Formación Pereira	11
Villavicencio– Granda– Puerto López	Cuaternario	8
Golfo de Morrosquillo	Depósitos marino-aluviales	5
Morroa	Formación Morroa	8
Cesar	Abanico aluvial	8
Golfo de Urabá	T2B	10
Valle de Aburrá		7
Total	14	112

Fuente: (IDEAM, Subdirección de Hidrología, 2015)

La Ley 99 de 1993 asignó al IDEAM y a las AAC responsabilidades en temas de aguas subterráneas, sin detrimento de la exploración que continúa en el marco de competencias del INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano – SGC).

En el año 2000 se realizó por parte del IDEAM la identificación en Colombia de 16 provincias hidrogeológicas que alojan sistemas acuíferos multicapas con condiciones favorables para su explotación. En el 2015, el IDEAM diseñó la red nacional de monitoreo de aguas subterráneas cuyo objetivo primordial es realizar el monitoreo de cada una de las 16 provincias hidrogeológicas (IDEAM, 2014). Para ello, busca la cooperación de diferentes AAC que operan pozos de observación y conformó la red nacional con 112 pozos seleccionados, tal y como se observa en la Figura 24 y en la Tabla 4.

Regionalmente se destaca la actividad de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, la cual cuenta con un programa de monitoreo que busca generar una alerta de la contaminación de los acuíferos, de los pozos de abastecimiento de agua y definir la distribución precisa de los agentes contaminantes en un acuífero ya contaminado (CVC, 2015). Igualmente, se destaca la continuidad y sistematización del monitoreo de las aguas subterráneas en CARSUCRE, CORPOURABÁ, CORPOCALDAS, CAR Y CORALINA (IDEAM, 2014).

Finalmente, es de destacar la estructuración, montaje e incorporación al monitoreo del IDEAM de la red de isotopía, diseñada con la asesoría del Instituto de Investigación para el Desarrollo - IRD de Francia, que cuenta con 12 estaciones instaladas de las 32 proyectadas para el territorio nacional. Esta complementará a la red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas (Figura 25).

Monitoreo de la calidad del agua en aguas superficiales continentales

El monitoreo de la calidad del agua en Colombia tiene sus inicios en el año 1974 con la expedición del Código Nacional de los Recursos Naturales y Protección al Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974, artículo 134 expedido por el Ministerio de Agricultura). Allí se delega al Estado la responsabilidad de garantizar la calidad del agua para consumo humano y para las actividades en que su uso sea necesario, y con ello se introduce la necesidad de controlar la calidad del agua, mediante análisis periódicos, de sus características físicas, químicas y biológicas para que sea apta para los fines a los cuales está destinada. Sin embargo, a nivel nacional la observación de forma sistemática solo se inició después de la creación del IDEAM.

La red nacional de calidad del agua cuenta actualmente con 176 puntos de monitoreo, los

Figura 25. Red nacional de isotopía



Fuente: IDEAM (2015)
 * RBNMAS: red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas

Figura 26. Red de calidad de agua superficial (IDEAM) y marino costera



Fuente: IDEAM (2015)

cuales en un alto porcentaje están situados en estaciones hidrométricas, con el propósito de hacer uso y aprovechamiento de la infraestructura instalada y de los datos de caudal para el cálculo de las cargas contaminantes. La mayoría de los puntos de monitoreo se encuentran en la macrocuenca Magdalena-Cauca, la de mayor presión antrópica del país. Las muestras se envían al laboratorio del IDEAM en la ciudad de Bogotá para su análisis y caracterización (Figura 26).

A nivel regional, existe un avance importante en el monitoreo de la calidad del agua por parte de la CAR, CORANTIOQUÍA, CVC, CDMB (registros en el río de Oro desde 1983) y -AMVA (proyecto Red Río desde 2003 para el río Aburrá). Algunas de estas Corporaciones cuentan con sistemas de consulta pública de información en sus portales web, como es el caso de CORANTIOQUÍA, donde se puede acceder a los datos fisicoquímicos y a los índices de calidad del agua. Las autoridades ambientales hacen observaciones y mediciones de calidad del agua para el seguimiento al cumplimiento de objetivos de calidad, a través de redes complementarias regionales.

La problemática del monitoreo de la calidad del agua a nivel nacional y regional radica en la limitada cobertura de puntos de medición de las variables fisicoquímicas en los diferentes cuerpos hídricos del país, lo cual resulta insuficiente para evaluar y hacer seguimiento a la afectación producida por las actividades antrópicas.

El laboratorio de calidad físico química ambiental del IDEAM y los laboratorios a nivel regional requieren el fortalecimiento de su infraestructura, operación, funcionamiento con el fin de ampliar sus acreditaciones.

Tradicionalmente, la calidad del agua ha sido determinada en función de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Sin embargo, en las últimas décadas, esta aproximación ha ido cambiando con la introducción de conceptos ecológicos en los análisis, incorporando parámetros relacionados con la bioindicación para determinar la calidad del agua.

En materia de bioindicación, es importante aclarar que un bioindicador es un organismo, parte de un organismo o una comunidad de organismos que contienen información acerca de la calidad del ambiente o parte del ambiente (Market et al., 2003). El uso de organismos in situ para la identificación y cuantificación de los tóxicos o contaminantes en el medio ambiente es conocido como biomonitoreo (Chaphekar, 1991). El biomonitoreo aprovecha, entre otras, la habilidad de los organismos para acumular contaminantes en sus tejidos mediante bioconcentración o biomagnificación (Lovett-Doust et al., 1994). En la Tabla 5 se presenta una comparación de las ventajas de los métodos fisicoquímicos y los biológicos (Prat, 1998). Dentro de las ventajas de los bioindicadores, se destaca su capacidad integradora de la información sobre la contaminación, frente a la información puntual suministrada por los indicadores clásicos. Es decir, los bioindicadores proporcionan información sobre la calidad ecológica del agua de las últimas semanas o meses, mientras que los parámetros fisicoquímicos sólo proporcionan información del momento de muestreo.

Tabla 5. Comparación entre parámetros biológicos y físico-químicos

Biológicos	Fisicoquímicos
Realizan integración espacial y temporal de la contaminación	Determinan la presencia de un contaminante específico
Dan respuesta a contaminaciones crónicas y puntuales	Permiten la observación de los cambios temporales detallados
Miden degradación del hábitat	Son de fácil estandarización
Proporcionan información de bioacumulación	

Se deduce de esta comparación que los parámetros biológicos no sustituyen a los fisicoquímicos, sino que deben ser utilizados simultáneamente para mejorar la información obtenida.

Dentro del contexto colombiano, no existen redes de monitoreo en las cuales se muestreen sistemáticamente los organismos biológicos, excepto lo realizado por el laboratorio del Instituto Colombiano del Petróleo - ICP (en 561 sitios de muestreo semestral, entre 2005 y 2011). También el laboratorio de calidad del IDEAM cuenta con datos de bioindicación con macroinvertebrados, desde el año 2005, mas no con una red de monitoreo. En total, se cuenta con 86 muestras, la mayoría del río Magdalena, como producto de los acuerdos realizados con CORMAGDALENA para el monitoreo de dicho río. Otra institución que cuenta con información sobre macroinvertebrados es la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR (Roldán, 2012).

Además, el Centro de Investigación del Río Magdalena Alfonso Palacio Rudas -CIRMAG, ha llevado a cabo una campaña de muestreo en la que se han incluido los macroinvertebrados y las diatomeas, así como un estudio de viabilidad de las estaciones para la implementación de los bioindicadores en la red de vigilancia.

Como se puede observar, la mayoría de la información relativa a la bioindicación corresponde a estu-

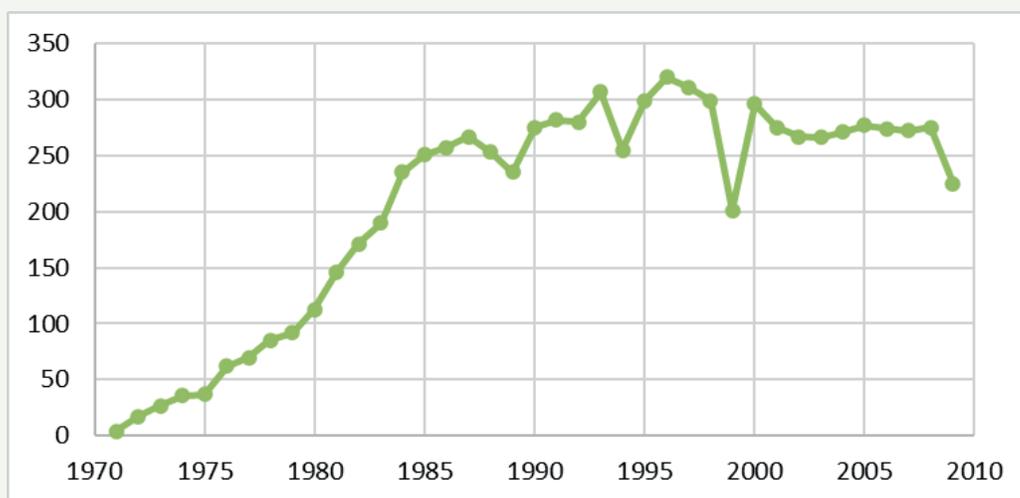
dios aislados, puntuales y sin continuidad temporal. Cabe destacar los esfuerzos llevados a cabo por el IDEAM, desde el año 2006, para el desarrollo de protocolos y metodologías para el uso de los macroinvertebrados y las diatomeas como indicadores biológicos de la calidad del agua. En el marco del ordenamiento del recurso hídrico algunas AAC (CORPOCESAR, CORTOLIMA, CDMB, CAS, CORMA-CARENA, CORANTIOQUIA, CAM y CARDER) han realizado observaciones y mediciones no sistemáticas de recursos hidrobiológicos, en particular con macroinvertebrados, perifiton y algas perifíticas.

Monitoreo de transporte de sedimentos en cuencas continentales

Los registros más antiguos de transporte de sedimentos, almacenados en la base de datos del IDEAM, datan de 1970 y corresponden a la estación hidrológica Puente Santander, en el río Magdalena (departamento del Huila), la cual está aún activa.

Como puede apreciarse en la Figura 27, se manifiesta un crecimiento continuo del número de

Figura 27. Número de estaciones de monitoreo de sedimentos (1970-2009)



Fuente: Extractado del catálogo de estaciones IDEAM

Figura 28. Red nacional de monitoreo de sedimentos



Fuente: Catálogo IDEAM (2015)

Figura 29. Red nacional de monitoreo de aguas marinas y costeras de la REDCAM



Fuente: DAMCRA (2017)

estaciones de sedimentos en las décadas de los años 70 y 80, hasta el año 1996 cuando se tiene un máximo de cerca de 320 estaciones. Al final del periodo mostrado en la Figura 27 (año 2009), se advierte una tendencia a la reducción.

En la actualidad, los datos medidos por la red nacional de monitoreo de sedimentos han aportado información valiosa sobre las cuencas para la elaboración de los Estudios Nacionales del Agua (ENA). Además, se ha mejorado la información de transporte de sedimentos en puntos de interés de diferentes cuencas y las características geomorfológicas de las mismas, para obtener una cuantificación del potencial de producción de sedimentos en suspensión y el rendimiento de producción a nivel zonal.

Este tipo de estudios demuestra que el conocimiento de la carga de sedimentos es un aporte importante al conocimiento global de la cuenca, lo cual significa que la relevancia de la información obtenida de cargas sedimentológicas no sólo caracteriza el cuerpo de agua, sino que son grandes insumos para lograr una información del estado de la cuenca a la cual pertenece.

En lo que respecta a otras aplicaciones de los datos de sedimentos, como la hidráulica fluvial, vale la pena advertir que la información recolectada durante todos estos años corresponde a la del componente en suspensión de la carga sedimentológica, sin duda, la de mayor magnitud. Sin embargo, no existen mediciones sistemáticas que busquen cuantificar la carga de arrastre, la de mayor significancia para comprender el comportamiento de la dinámica de los cauces, parámetro de gran importancia para el estudio de las amenazas naturales de origen hídrico, y fundamental para el desarrollo de la infraestructura nacional.

En la Figura 28 se puede apreciar la distribución geográfica de la red de monitoreo de sedimentos. Dada la importancia de la macrocuenca Magdalena-Cauca para el desarrollo del país, en esta es donde se presenta la mayor concentración de estaciones.

Monitoreo de aguas superficiales marinas y costeras y del componente oceanográfico

En lo que respecta al monitoreo de aguas superficiales marinas y costeras, desde el año 2001 se realiza un monitoreo continuo en el marco de la REDCAM, la cual integran el MinAmbiente, las 12 Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible con jurisdicción en los litorales Caribe y Pacífico: CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO bajo la coordinación del INVEMAR. Cabe destacar que una década antes se venían haciendo esfuerzos locales de monitoreo del agua en diferentes regiones y sitios estratégicos.

El objetivo principal de la REDCAM es “contribuir con las bases y referentes científicos sobre la calidad ambiental marina y costera colombiana, así como mantener una red de vigilancia que comprenda la franja marino-costera, de manera que posibilite el manejo integrado y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales asociados”. Para esto, la REDCAM cuenta con aproximadamente 350 estaciones (230 en la región Caribe y 120 en Pacífico) tal y como se ilustra en la Figura 29.

La REDCAM cuenta con una amplia cobertura en relación a ecosistemas estratégicos como corales, manglares, playas, lagunas costeras, estuarios, entre otros, ubicados en sitios de interés como golfos, bahías, ciénagas, los frentes y la cuenca baja de los principales ríos que drenan al mar Caribe y al océano Pacífico, donde se miden parámetros in-situ y se colectan muestras de aguas y sedimentos para análisis fisicoquímicos, microbiológicos, metales pesados y contaminantes orgánicos e inorgánicos. También se elabora un inventario de las fuentes de contaminación provenientes de actividades terrestres y marítimas que afectan el ambiente, el cual se actualiza a nivel nacional cada año.

Los resultados de los monitoreos, variables, estaciones, estadísticas, indicadores y el Informe

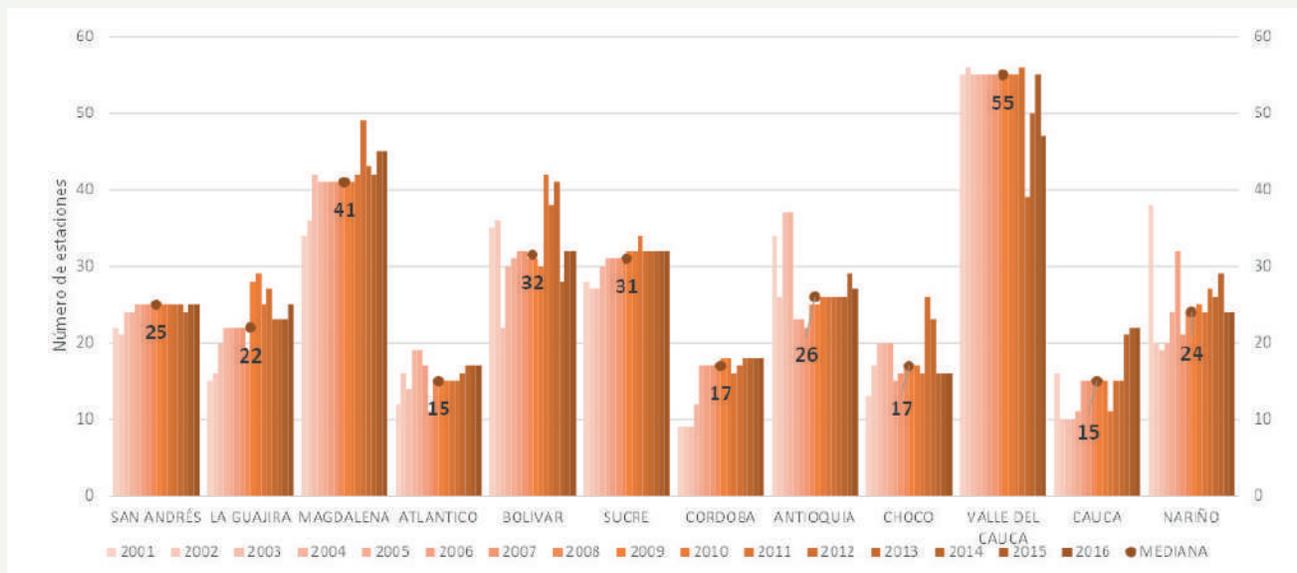
técnico de diagnóstico están disponibles y son publicados en la página Web del SIAM. En el componente oceanográfico y meteorológico, el INVEMAR administra desde el 2009 un conjunto de cuatro (4) estaciones ubicadas en el Caribe, cuya instalación y mantenimiento responde a la necesidad de generar series de tiempo de variables meteoceanográficas que puedan aportar a la mejora de escenarios, modelos o pronósticos en el estudio del ascenso del nivel del mar y la variabilidad climática. Se espera que estos puedan aportar a la toma de decisiones en cuanto a medidas de adaptación al cambio climático para las zonas costeras y oceánicas. Los datos obtenidos son transmitidos de manera continua y en tiempo real y son almacenados en el centro de administración de datos del INVEMAR y tienen su repositorio en el SIAM.

En el año 2015 se realizó la evaluación a la red de vigilancia (INVEMAR y MinAmbiente, 2015), con el fin de proponer ajustes a corto, mediano y largo plazo considerando su articulación con el PNMRH. Los resultados evidenciaron la evolución que ha tenido el programa de monitoreo en el

tiempo y la variabilidad en el número de estaciones y parámetros por departamento (Figura 30), lo cual ha estado asociado al cumplimiento de las necesidades de información nacional y regional.

Dentro de las principales dificultades identificadas en el monitoreo de la REDCAM está la escasez de criterios de calidad para aguas marinas y estuarinas, y la capacidad técnica de los laboratorios de las AAC para la implementación de técnicas analíticas en la matriz marina (INVEMAR y MinAmbiente, 2015). A pesar de que los laboratorios de las AAC cuentan con capacidad instalada, los procesos de acreditación que realiza el IDEAM están orientados únicamente a la matriz continental y no a la matriz marina. Esto dificulta la unificación de técnicas y límites de detección o cuantificación sensibles a las concentraciones que se encuentran en aguas y sedimentos marinos. En ese sentido, desde la REDCAM se han realizado anualmente talleres, cursos y validaciones de técnicas analíticas in situ que. Sin embargo, se requiere de un plan de fortalecimiento de laboratorios en esta temática para el monitoreo del recurso hídrico marino.

Figura 30. Variación del número de estaciones de monitoreo REDCAM por departamento



Fuente: INVEMAR (2015)

Monitoreo de humedales

En Colombia, el monitoreo sistemático de los humedales no existe, pero se han hecho algunos ejercicios de monitoreo, como lo indica el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt - IAvH en su publicación Colombia anfibia - Un país de humedales (vol. I) (IAvH, 2015): “Colombia siempre ha tratado de entender y manejar sus ecosistemas acuáticos. El camino de identificación de humedales no es, entonces, árido ni inhóspito; es un trayecto que otros ya han avanzado, es un registro realizado por personas e instituciones que han recorrido sus humedales desde hace muchos años”.

En términos generales, para fortalecer el ámbito técnico, se requiere lo siguiente:

- Desarrollar una plataforma de integración tecnológica que permita recibir, procesar y validar la información proveniente de diferentes fuentes.
- Automatizar la red hidrometeorológica e incorporar nuevas tecnologías para la observación y medición, sensores remotos, software de visualización y medidores de caudal acústicos (acoustic doppler current profiler, ADCP por sus siglas en inglés).
- Ampliar la cobertura temática de monitoreo para realizar un seguimiento integral al recurso hídrico a nivel nacional y regional. Esto implica incorporar el monitoreo de aguas subterráneas, calidad del agua, bioindicación y monitoreo de ecosistemas especiales.
- Ampliar la cobertura geográfica mediante la implementación de redes básicas regionales, generación de información para pronósticos y alertas, calidad del agua y aguas subterráneas por parte de las autoridades ambientales. A nivel nacional, se tiene previsto el crecimiento de la densidad de puntos de observación a través de las acciones en desarrollo con el Fondo Adaptación, alianzas estratégicas con sectores productivos, cooperación internacional y recursos propios de IDEAM.

- Modernizar y optimizar los procesos de recolección, procesamiento y validación de la información en cada una de las entidades responsables del monitoreo, articulando las redes de monitoreo básicas, con las redes de monitoreo complementarias y las redes de monitoreo específicas.

3.3 Herramientas tecnológicas para el monitoreo

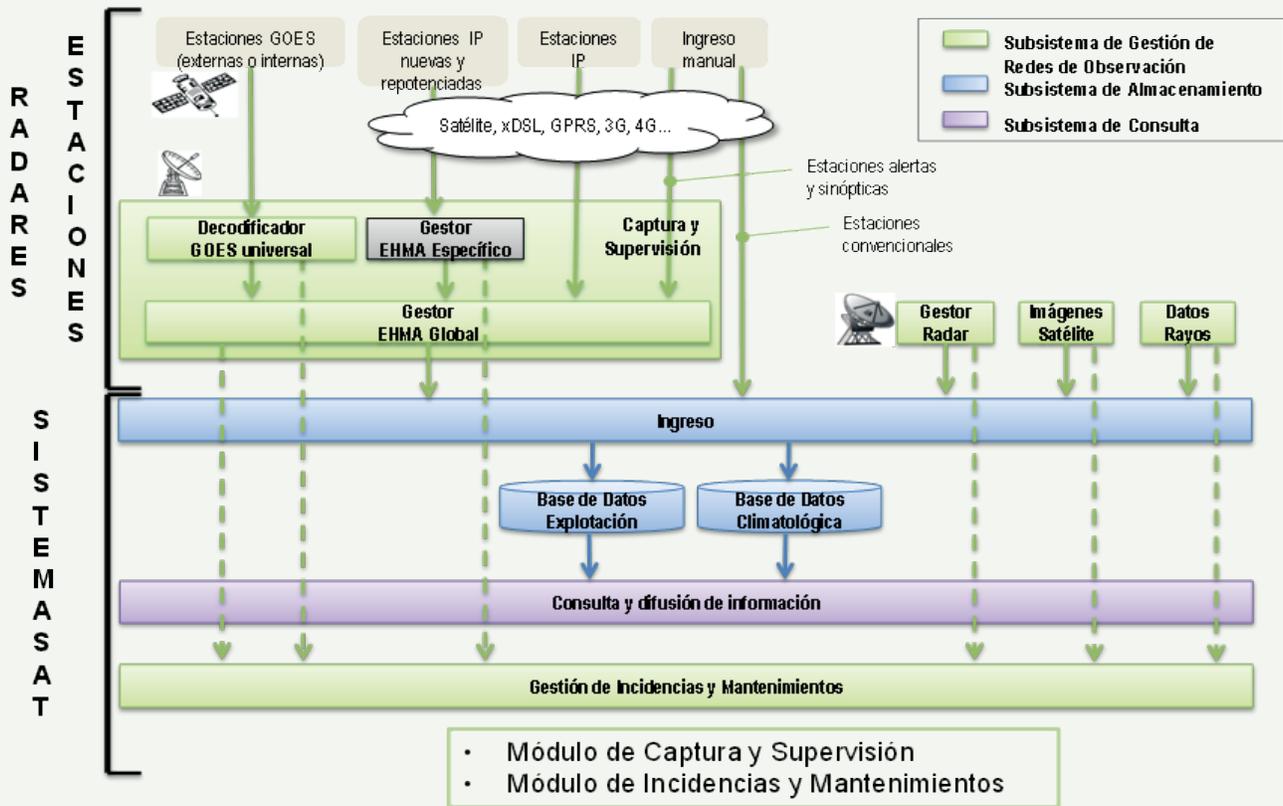
A partir de la expedición de la Ley 99 de 1993, se amplió sustancialmente el espectro del monitoreo de datos ambientales, en la medida en que antes de esta, la trayectoria de Colombia en la obtención de datos ambientales se reducía al monitoreo hidrometeorológico y, en menor escala, al de sedimentos.

La red hidrometeorológica básica nacional actual está consolidada y cuenta con estaciones automáticas que contribuyen al programa de alertas. En este sentido, se conmina a que las AAC integren las redes nacionales y hagan uso de las guías y protocolos que los institutos de investigación han generado para para el diseño de las redes hidrometeorológicas y de calidad del agua, a nivel nacional (IDEAM, 2017).

Por lo tanto, se requiere la implementación, mantenimiento y operación de la plataforma tecnológica de recepción y procesamiento de datos administrada por el IDEAM, la cual debe permitir utilizar los datos provenientes de las estaciones automáticas, más allá del ámbito del programa de alertas. Por la misma razón, debe impulsarse el cambio de estaciones convencionales a automáticas, en aquellos sitios donde sea factible su instalación.

Las redes nacionales de monitoreo de sedimentos y calidad del agua no han tenido un avance significativo en el cubrimiento de áreas sensibles a la problemática ambiental, ni en la aplicación de nuevas tecnologías de medición. En lo que respecta a humedales continentales, aún no hay monitoreo

Figura 31. Plataforma de integración tecnológica propuesta por el IDEAM



Fuente: IDEAM (2015)

*Estaciones GOES: estaciones digitales receptoras de imágenes de satélites meteorológicos

*SISTEMASAT: Sistemas de alertas tempranas.

*EHMA: sistemas de gestión de base de datos

sistemático, pero hay grandes avances en la identificación y clasificación de humedales. Igual sucede con el monitoreo de las aguas subterráneas que se realiza, a lo sumo, en cinco corporaciones. Es necesario reorganizar el monitoreo de la calidad del agua, tanto de referencia como el correspondiente a redes regionales y específicas, y desarrollar el tema de bioindicación. Respecto de este último, es necesario fortalecer la sistemática taxonómica, validar las hidro-ecorregiones y estructurar la red de bioindicación.

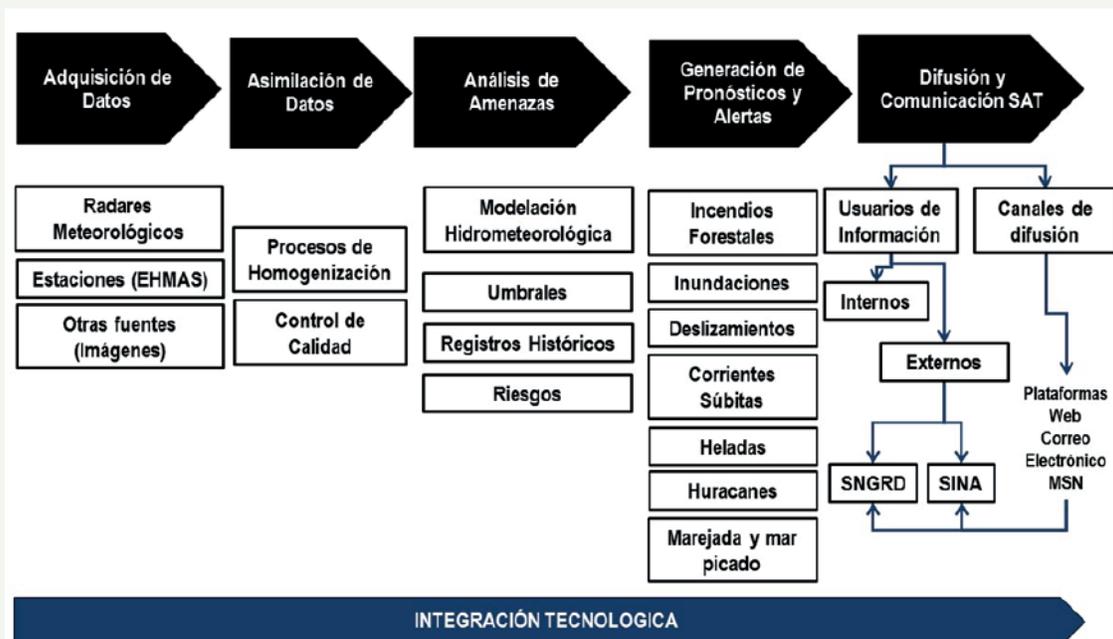
En la relación con la red de isotopía, esta comienza a generar datos e información, pero su utilidad requiere de una mayor longitud de registro y capacitación temática para potencializar sus aplicaciones. En relación con el ámbito marino costero, es preciso contar con una mayor cobertura

de estaciones oceanográficas en el Caribe y avanzar en la instalación de estas en el Pacífico.

Es importante resaltar que, como respuesta a las consecuencias y pérdidas ocasionadas por el fenómeno de La Niña del año 2010, se creó el Fondo de Adaptación y desde éste se proyectan acciones concretas para fortalecer el monitoreo con énfasis en alertas tempranas.

En primer lugar, se contempla la implementación de la plataforma de integración tecnológica para el IDEAM que permitirá incorporar observaciones y mediciones de diferentes fuentes. En esta se consideran los subsistemas de gestión de redes de información, de almacenamiento y de consulta (Figura 31), constituyéndose como una oportunidad para el IDEAM dado que le permitirá modernizar sus sistemas de captura, almacenamiento y

Figura 32. Integralidad del Sistema de alertas tempranas



Fuente: IDEAM (2015)

*SAT: sistemas de alertas tempranas

*EHMAS: sistemas de gestión de base de datos

*SNGRD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

*MSN: mensajería electrónica

procesamiento de la información con una visión de convergencia y economía de hardware, al utilizar tecnologías de Big Data, las cuales hacen referencia al almacenamiento de grandes cantidades de datos y a los procedimientos usados para encontrar patrones repetitivos dentro de esos. Las dificultades más habituales asociadas a la gestión de estas cantidades de datos se centran en la recolección y el almacenamiento, búsqueda, análisis, y visualización de estos.

Para la integración de sistemas de alertas tempranas es necesario realizar un ajuste de los procesos asociados a estos. Dichos procesos son sintetizados en la Figura 32.

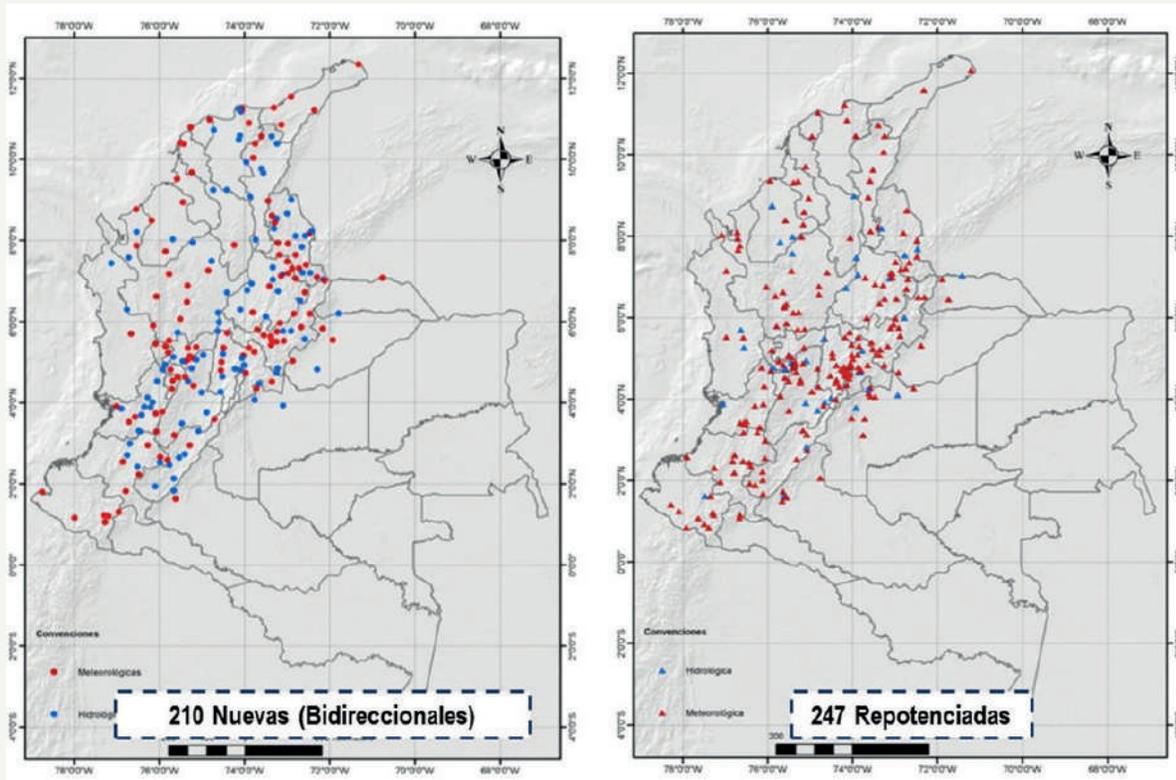
Los procesos presentados en la Figura 32 incorporan la utilización de técnicas de teledetección y modelación para mejorar la calidad y oportunidad de los productos que se difunden a través de diferentes canales. Un segundo grupo de acciones contempló la adquisición e instalación de 210 nuevas

estaciones hidrometeorológicas automáticas y la repotenciación de 247 existentes (Figura 33).

Estas estaciones amplían la cobertura geográfica y modernizan la red para tener respuestas más oportunas y de mejor calidad. El proceso de instalación se realizó entre el año 2016 y el 2017. Esta actividad ha sido complementada con otras iniciativas de automatización que se adelantan desde el IDEAM con el sector privado (TEPSA S.A., PERENCO S.A.), Agencia Nacional de Hidrocarburos -ANH y CORMAGDALENA con el apoyo de NAVELENA S.A.S. e IMPALA TERMINAL COLOMBIA S.A.S.

La meta es la automatización de 740 estaciones adicionales, de conformidad con lo establecido en el CONPES propuesto (DNP, 2012). Además, en el año 2015, se inició la ampliación de la cobertura geográfica de la red de calidad del agua y de la red de aguas subterráneas (en el marco del Programa Nacional de Aguas Subterráneas).

Figura 33. Repotenciación y nuevas estaciones del IDEAM con el Fondo Adaptación

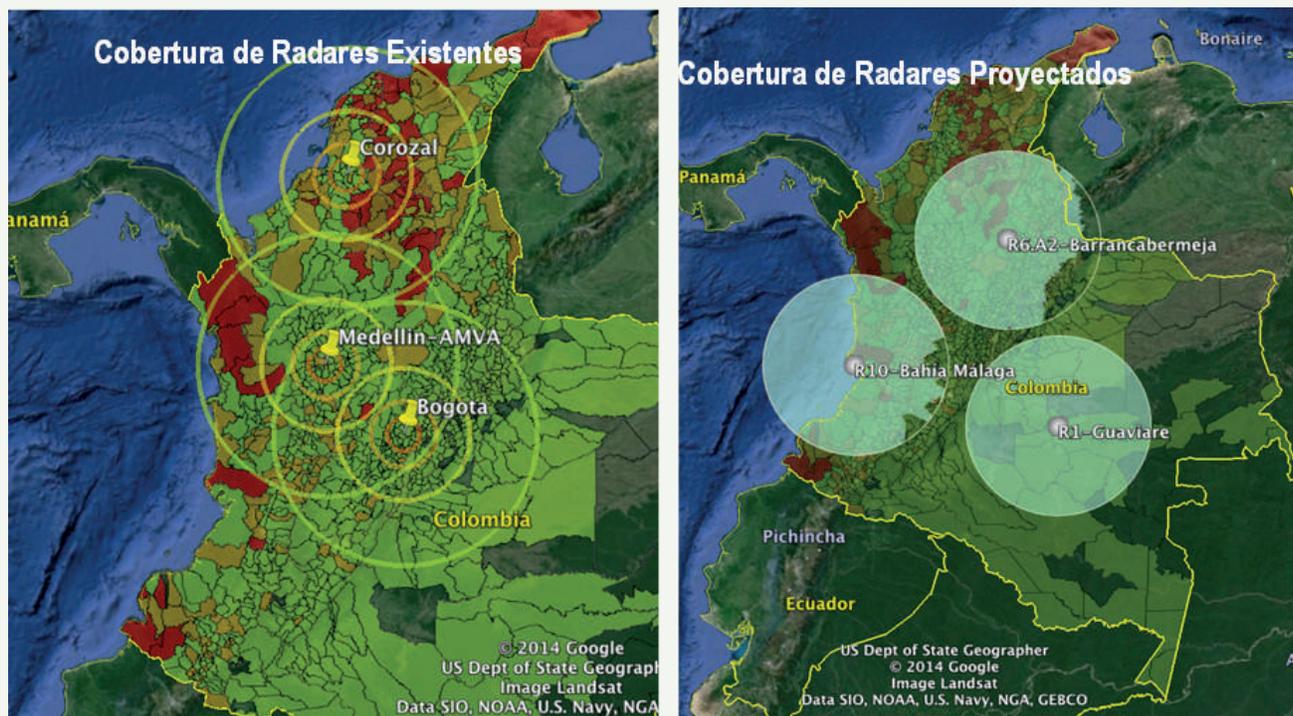


Fuente: IDEAM (2015)

Además, se instalaron 3 radares meteorológicos banda C en Barrancabermeja, Bahía Málaga y San José del Guaviare, con recursos del Fondo de Adaptación. Con estos radares, junto con los instalados por la AEROCIVIL (San Andrés, Corozal, Bogotá), el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos

y Cambio Climático - IDIGER y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA, se conformó la Red Nacional de Radares, la cual se complementa con radares banda X, cubriendo todo el territorio nacional (Figura 34).

Figura 34. Sistema Nacional de Radares



Fuente: IDEAM (2015)



CAPÍTULO 4

ALCANCE PROGRAMÁTICO DEL MONITOREO NACIONAL DEL RECURSO HÍDRICO

En este capítulo se presentan los objetivos, las líneas estratégicas, actividades, productos, metas e indicadores que definen las alternativas de solución a los principales problemas del monitoreo nacional de la gestión integrada del agua. Este alcance fue producto de un trabajo en conjunto entre las AAC, los institutos de investigación y representantes de la academia, quienes utilizando la metodología de marco lógico, establecieron las principales causas que deben ser atendidas y los efectos que deben ser corregidos en los próximos años para lograr un adecuado seguimiento y un mayor grado de conocimiento frente a la gestión integrada de los recursos hídricos en el país.

Así mismo, en este capítulo se presenta el plan operativo a 2040 que debe ser asumido por los diferentes responsables del monitoreo del agua, de acuerdo con sus funciones, competencias y requerimientos (técnicos, económicos y financieros). Este plan deberá ser actualizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como mínimo cada 10 años y con los insumos de los institutos de investigación establecidos en el artículo 2.2.3.1.4.1. del Decreto 1076 de 2015 expedido por MinAmbiente.

Para el componente marino-costero, el contenido programático se ampliará en una publicación específica.

4.1 Objetivo general

De conformidad con el artículo 2.2.3.1.4.1. del Decreto 1076 de 2015, el objetivo del PNMRH es el monitoreo del estado del recurso hídrico y el impacto que sobre este tienen las acciones desarrolladas en el marco de la PNGIRH.

Para alcanzar este objetivo, se implementarán estrategias y acciones, en el ámbito nacional y local, encaminadas en mejorar la generación de conocimiento e información sobre el recurso hídrico.

4.2 Objetivos específicos

- Formular e implementar acciones que permitan la consolidación del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia del agua (SOMV) de forma continua y sistemática, y que este cuente con cobertura nacional y regional que soporte la gestión integrada del recurso hídrico y la gestión de mares y costas. Además, se pretende que el SOMV sea interoperable con los subsistemas del SIA – SIAC.
- Formular e implementar acciones y estrategias de investigación e innovación tecnológica, para el monitoreo del agua por parte de las entidades competentes con el apoyo de universidades, centros de investigación y entidades privadas.
- Implementar acciones y estrategias para el fortalecimiento institucional y de las capacidades para el monitoreo del agua que requiere el país en concordancia con los principios de gobernanza del agua.
- Implementar estrategias y mecanismos articulados de comunicación, difusión y participación del monitoreo del agua.

4.3 Visión

Con las líneas de acción, metas, indicadores, actividades y productos correspondientes a cada

una de las líneas estratégicas definidas en este documento, se espera a 2040 lograr avances significativos en el monitoreo y mejorar la generación de conocimiento e información. Además, se realizará seguimiento al estado, dinámica y tendencias del recurso hídrico, identificando los impactos que puedan presentarse sobre este, en el territorio nacional.

4.4 Estrategias y sus líneas de acción, actividades, productos, metas e indicadores

El PNMRH se estructura a partir de cuatro (4) grandes ejes temáticos que responden a aspectos claves de la problemática identificada y definida en los objetivos específicos del programa. Asimismo, constituyen la base para formular las estrategias del programa, a saber:

- Estrategia 1. Consolidación del Sistema de Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.
- Estrategia 2. Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.
- Estrategia 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico.
- Estrategia 4. Comunicación, difusión y participación en el monitoreo del agua.

Estrategia 1. Consolidación del sistema de Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.

- **Propósito de la estrategia:** a diciembre de 2030 se habrá consolidado un sistema de

Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua con cobertura nacional y regional que soporte la gestión integrada del recurso hídrico incluyendo las aguas marinas. Además, será interoperable con los subsistemas del SIA – SIAC.

- **Meta general:** lograr que 40 Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental implementen acciones para consolidar el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia -SOMV- continua y sistemática del agua (nacional y regional) con oportunidad y calidad al Sistema de información ambiental para Colombia (SIAC) y al Sistema de alertas tempranas.
- **Indicador (%):** el indicador asociado a la Estrategia 1 (I_{EI}): Consolidación del Sistema de

Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico, es definido como:

$$I_{EI} = \frac{E_I}{E_T} * 100$$

Donde E_I corresponde al Número de Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental que han implementado acciones para consolidar el sistema de observación, medición y vigilancia -SOMV en el SIAC y E_T al total de Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental definidos en la meta.

En la Tabla 6 se presentan las líneas de acción. Además, se presentan las finalidades y actividades requeridas para desarrollar cada línea estratégica y aportar al logro del objetivo general del PNMRH.

Tabla 6. Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la estrategia 1. Consolidación del sistema de observación, medición y vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDAD	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
1.1 Articular acciones y estrategias nacionales y regionales para la consolidación y fortalecimiento del sistema de observación, y medición continua y sistemática del recurso hídrico.	A diciembre de 2030 se habrán formulado o fortalecido los programas de monitoreo de IDEAM e INVEMAR y los correspondientes programas de monitoreo regionales del recurso hídrico, siguiendo el marco conceptual y lineamientos del PNMRH, en aras de hacer sistemática y continúa las observaciones, mediciones y vigilancia del agua.	1.1.1. Definir lineamientos y estrategias de interoperación del sistema de observación y medición nacional y regional.	Documento con los lineamientos y estrategias de interoperación del Sistema.
		1.1.2. Formular y/o fortalecer los programas de monitoreo del recurso hídrico de las entidades competentes en el marco del sistema de observación y medición.	Treinta y cinco (35) programas de monitoreo de recurso hídrico formulados y/o fortalecidos.
		1.1.3. Definir y validar modelos funcionales y estrategias de los sistemas de alertas tempranas del recurso hídrico con un enfoque de interoperabilidad nacional y regional integrado al sistema de observación y medición.	Documento con la propuesta de modelos. Cinco (5) documentos con evaluación de los ejercicios de validación en autoridades ambientales.

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDAD	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
1.2 Integrar el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia del Agua (SOMV) al Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC).	A diciembre de 2028 se habrán ajustado los instrumentos y herramientas previstos por el IDEAM, INVEMAR y MinAmbiente, para integrar el sistema de observación y medición al Sistema de información ambiental para Colombia (SIAC).	1.2.1. Ajustar los instrumentos y herramientas de captura, preanálisis, control de calidad y transmisión del sistema de observación y medición con los procesos de asimilación, procesamiento, modelación, análisis y difusión de datos e información del Sistema de información ambiental para Colombia (incluyendo SIRH y SIAM).	Sistema de información del recurso hídrico -SIRH ajustado y Sistema de Información Ambiental Marino costera -SIAM operando a nivel nacional y regional. Elaboración de manuales de usuario.
		1.2.2. Establecer estrategias y mecanismos para garantizar el flujo de información de monitoreo del agua entre las entidades competentes de los niveles nacional y regional.	Documento con estrategias y mecanismos para incorporar al sistema de observación y medición, la información de monitoreo proveniente de autoridades ambientales.
		1.2.3. Desarrollar estrategias y mecanismos para incorporar al sistema de observación y medición la información de monitoreo proveniente de los proyectos licenciados, monitoreo participativo, sectores productivos, entidades territoriales, y del sector privado y empresas de servicios públicos.	Estándares (junto con los actos normativos acordes) que permitan articular la información no sistemática proveniente de los proyectos licenciados, monitoreo participativo, sectores productivos, entidades territoriales, del sector privado y empresas de servicios públicos, con el sistema de observación, medición y vigilancia continua y sistemática del agua. Formularios y/o procedimiento para el ingreso de los datos al SIRH

Fuente: elaboración propia

Esta estrategia se concentra en alistar a las instituciones competentes del monitoreo del agua en el país a través de la formulación de instrumentos de gestión como los PIRMA y el ajuste de herramientas informáticas para darle solidez al sistema de observación, medición y vigilancia de los procesos del ciclo del agua, de tal manera que permita suplir las necesidades de monitoreo requeridas para generar información y conocimiento como soporte efectivo de la gestión integral del recurso hídrico. Se prevé definir una estructura del sistema de monitoreo que sea funcional e interoperable entre los niveles nacional y regional para agua superficial

(continental y marina), agua subterránea, calidad y sedimentos, en sus aspectos de cantidad, calidad y variabilidad. El documento de soporte será liderado por MinAmbiente e IDEAM, apoyado por INVEMAR para el tema marino costero y con contratación de profesionales de alto nivel. Este contendrá los lineamientos y estrategias para que las entidades competentes construyan o ajusten sus programas de monitoreo regionales del agua.

En los programas de monitoreo regionales del recurso hídrico que se formulan por parte de las entidades competentes, se deben considerar los propósitos del monitoreo en el marco de sus

funciones, definir los procesos y áreas temáticas objeto de monitoreo, las variables y resolución espacial y temporal que se quiere conseguir. Igualmente, deben incluir el diseño de las redes de observación y medición, los protocolos y estándares a utilizar, y los métodos básicos de obtención de datos de tal manera que se puedan representar y hacer seguimiento de los procesos naturales y sus interacciones. Se espera que en estos programas se definan una estrategia para su implementación y una estrategia de seguimiento y evaluación, además de un plan de acción.

En esta línea estratégica se considera también la validación de modelos funcionales de sistemas de alertas tempranas en cuencas representativas seleccionadas con autoridades ambientales, con el propósito de documentar la experiencia y el proceso de implementación y operación de estos sistemas para que puedan ser replicados o adaptados para otras cuencas en diferentes regiones del país.

Para que se logren los objetivos del monitoreo es clave el desarrollo coherente y coordinado de instrumentos y herramientas de conexión entre el sistema de observación, medición y vigilancia y el SIAC, de tal manera que se garantice el flujo de la información. En particular, se debe garantizar el ingreso de datos en los componentes del SIRH y del SIAM. La obtención, procesamiento de datos e información procedente del monitoreo y su ingreso al sistema de información debe contar con el análisis de confiabilidad e incertidumbre y las herramientas de acceso al usuario.

Estrategia 2. Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.

- Propósito de la estrategia: a diciembre de 2040 las entidades responsables del sistema de observación y medición y vigilancia del recurso hídrico, con el apoyo de universidades, centros de investigación y entidades privadas, deberán haber formulado e implementado acciones y estrategias de investigación e innovación del monitoreo del agua.
- Meta general: una (1) investigación bial producida, divulgada e incorporada en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.
- Indicador (%): el indicador asociado a la Estrategia 2 (I_{E2}): Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua es definido como:

$$I_{E2} = \frac{I_{PDI}}{8} * 100$$

Donde I_{PDI} corresponde al número de investigaciones producidas, divulgadas e incorporadas en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua. Es importante señalar, que en este indicador el denominador (8) corresponde al número mínimo de investigaciones esperado en el periodo en el que se implementará esta meta, es decir en el lapso comprendido entre el año 2025-2040.

Tabla 7. Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la línea estratégica 2. Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDADES	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
2.1 Investigar y divulgar nuevas técnicas y tecnologías para el monitoreo, usando satélites, radares, drones, cámaras de video y otros equipos, bioindicación, monitoreo participativo, etc.	A diciembre de 2040 se habrán divulgado las investigaciones de proyectos priorizados por las instituciones responsables del monitoreo	2.1.1. Integrar una red de investigadores compuesta por las universidades y centros de investigación que apoye al Comité Científico Interinstitucional del SINA, para la priorización de temas de investigación pertinentes para el monitoreo del agua, en el marco del Programa Nacional de Investigación del Recurso Hídrico.	Aplicativo web interoperable con el SIA - SIAC, que cumpla con los lineamientos definidos por la estrategia de Gobierno en Línea con el directorio de investigadores, centros de investigación y grupos de investigación, que conforman la red de investigadores en materia de monitoreo del agua.
		2.1.2. Desarrollar proyectos de investigación de técnicas y tecnologías de monitoreo del agua.	Informes de los proyectos de investigación publicados en los portales institucionales y en la página del SIAC.
		2.1.3. Implementar acciones y estrategias de capacitación y entrenamiento a los actores institucionales en técnicas y tecnologías para el monitoreo	Realización de 4 jornadas de capacitación y entrenamiento para labores del monitoreo dirigidos a funcionarios de entidades del SINA.
2.2 Desarrollar y validar procedimientos para incorporar análisis de confiabilidad e incertidumbre en los procesos que componen el monitoreo (observación, medición, control de calidad del dato, etc).	A diciembre de 2040 los datos e información producida por el sistema de observación, medición y vigilancia del agua, contarán con reportes evaluativos de su confiabilidad e incertidumbre y estarán a disposición del usuario.	2.2.1. Validar y aplicar metodologías para el análisis de confiabilidad e incertidumbre de los datos e información proveniente del monitoreo del agua, a nivel nacional y regional.	Documentos con resultados de estudios que contengan las metodologías y herramientas para realizar los análisis de confiabilidad e incertidumbre de los datos y de la información
		2.2.2. Desarrollar aplicaciones y herramientas para incorporar los productos y resultados de la investigación en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.	Documentación de soporte para incorporar los resultados de la investigación al sistema de observación, medición y vigilancia del agua, en los niveles nacional y regional.
2.3 Desarrollar estrategias para el monitoreo del agua en los ecosistemas especiales (glaciares, páramos, humedales, arrecifes de coral, manglares, pastos marinos, ambiente pelágico, litoral rocoso, playas arenosas y lagunas costeras) y evaluación del riesgo.	A diciembre de 2032, el PNMRH habrá definido y puesto en marcha estrategias para desarrollar el monitoreo del agua en los ecosistemas acuáticos especiales y para la evaluación del riesgo.	2.3.1. Evaluar y ajustar los procesos y procedimientos existentes del monitoreo del agua en los ecosistemas acuáticos especiales.	Documento con resultados de investigación sobre el diagnóstico y recomendaciones para el mejoramiento del monitoreo del agua en ecosistemas especiales en Colombia, atendiendo a sus particularidades. Protocolos para el monitoreo de cuerpos hídricos especiales acorde con sus particularidades.
		2.3.2. Desarrollar estrategias y metodologías para el monitoreo mediante sistemas de alertas tempranas y evaluación del riesgo.	Lineamientos y metodologías para el monitoreo requerido por los sistemas de alerta temprana, acorde con sus particularidades.

En la Tabla 7 se presentan las líneas de acción, las finalidades, las metas y actividades requeridas para desarrollar cada línea estratégica y aportar al logro del objetivo general del PNMRH.

En este proceso se ha identificado la necesidad de que los investigadores, universidades y centros de investigación, tanto públicos como privados, que trabajan en el país en temáticas tales como el recurso hídrico, las telecomunicaciones, la electrónica, los sistemas informáticos y de posicionamiento geográfico, apoyen al MinAmbiente, al IDEAM, al INVEMAR y a las Autoridades Ambientales en el propósito de mejorar, divulgar y poner en marcha una serie de avances metodológicos, tecnológicos, técnicos, y de mejoramiento de las capacidades institucionales de infraestructura y talento humano del sistema de observación, medición y vigilancia del agua en el país, para generar así nueva información y conocimiento atendiendo a los principios generales de racionalización, eficiencia operativa, inversión efectiva, estandarización y neutralidad tecnológica.

En el PNMRH aquí descrito se establece que para el adecuado desarrollo de las actividades previstas se tendrá lo siguiente:

- La participación activa de los investigadores nacionales vinculados a las múltiples temáticas involucradas (pertenecientes a las universidades y otros centros), por cuanto resulta absolutamente necesario identificar y estudiar, a profundidad, las experiencias nacionales e internacionales que se tengan sobre tecnologías de monitoreo; evaluar la conveniencia y utilidad de su aplicación bajo las condiciones propias del medio colombiano; someter a prueba esas tecnologías y técnicas en cuanto a la generación de información relevante y significativa para la observación del proceso hídrico deseado (a través de variables indicadoras); establecer los requerimientos de infraestructura, conocimientos, equipos y personal que impliquen las mejoras tecnológicas a introducir; evaluar la relación costo/beneficio de las diversas alternativas que se formulen; entre otros aspectos.
- Integrar al PNMRH una red de investigadores que permita facilitar el desarrollo de las investigaciones que apunten a solucionar los diversos problemas que plantea el monitoreo, agilice los procesos administrativos y la utilización eficiente de la infraestructura de laboratorios e instalaciones tecnológicas actualmente disponibles en diversas instituciones nacionales, y favorezca el acceso a las fuentes de financiación externas, nacionales y regionales, para llevar a cabo tales investigaciones.
- Promover la formación a nivel técnico, de pregrado y de posgrado de funcionarios de las entidades, así como la realización de un esfuerzo por parte de las universidades y centros de aprendizaje por atraer una mayor cantidad de interesados y ampliar la oferta de programas especializados en las temáticas involucradas en el desarrollo científico y tecnológico asociado al monitoreo (recursos hidráulicos, ciencias naturales, ciencias del mar, bioindicación y calidad de agua, etc.) y así, satisfacer la demanda de especialistas generada como resultado de la ejecución del PNMRH. Esta tarea debe ser el fruto de una interacción de carácter motivacional por parte de MinAmbiente, IDEAM e INVEMAR, a través del Comité Científico Interinstitucional del SINA, que genere acciones concretas por parte de las instituciones de educación superior de todo el país, y particularmente de aquellas vinculadas a la red de investigadores propuesta. Esto incluye la programación de seminarios, diplomados y otros eventos de extensión para mejorar las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del recurso hídrico.
- Diseñar las herramientas procedimentales, matemáticas y computacionales que permitan valorar e informar al usuario acerca de la confiabilidad de las series de datos de cada uno de los parámetros monitoreados, y que conduzcan a introducir progresivamente los correctivos a que haya lugar. En este asunto,

una vez más la participación de la red de investigadores se considera valiosa, pues se requiere desarrollar toda una serie de análisis de las prácticas actuales, de las prácticas realizadas por entidades similares del exterior, de las técnicas estadísticas de valoración y propagación de los errores, y del conocimiento de los procesos del ciclo hidrológico, contemplando los aspectos asociados a este en relación con la calidad del agua y la hidrobiología.

- Aquí será necesario incorporar a las prácticas rutinarias o excepcionales de monitoreo, aquellos resultados producto del trabajo de la red de investigadores respecto de aquellos indicadores y métodos más eficientes para hacer el seguimiento de los hidrosistemas y componentes que no son monitoreados en la actualidad (glaciares, humedales, cuerpos hídricos generadores de amenazas, tormentas, etc.) o cuyos procedimientos actuales son aún precarios, insuficientes o presentan dificultades de orden tecnológico (bioindicación, oceanografía, sedimentos de material del lecho, etc.)
- Cumplir con las normas de calidad en los procesos de toma de datos en campo y laboratorio. Para ello, el PNMRH comprende, entre sus actividades, el establecimiento formal de alianzas entre las instituciones que tienen a su cargo el monitoreo, con el Instituto Nacional de Meteorología de Colombia y, por su intermedio, con otros entes de carácter público y privado que tengan capacidad para acceder con alguna facilidad a los procedimientos de calibración de equipos de manera regular y con costos ajustados a las capacidades de las citadas autoridades.
- Generar espacios de intercambio y retroalimentación de experiencias relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico.
- Nuevas técnicas, estándares y tecnologías de monitoreo para los glaciares, humedales, aguas marino-costeras y cuerpos hídricos generadores de amenaza, entre otros. Para ello, la red de

investigadores deberá comparar las prácticas actuales de monitoreo del agua utilizadas en dichos ecosistemas especiales con las prácticas exitosas en otros países.

Tres cuartas partes del presupuesto estarán destinadas directamente a los proyectos de investigación a cargo de la red de monitoreo, en concordancia con la orientación del Comité Científico Interinstitucional del SINA; un 9% se dedicará al desarrollo de técnicas y procedimientos de monitoreo para ecosistemas especiales aún no evaluados, mientras que una cifra un tanto menor se utilizará con el objeto de actualizar y optimizar las técnicas que hoy en día están siendo utilizadas en el sistema de observación, medición y vigilancia del agua. El porcentaje restante se dedicará al desarrollo de las capacidades técnicas del personal y las instituciones involucradas en el monitoreo del agua.

Estrategia 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico

- Propósito de la estrategia: a diciembre de 2040 se habrán implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua que requiere el país en concordancia con los principios de gobernanza del agua (efectividad, eficiencia, confianza y participación).
- Meta general: 40 autoridades ambientales o institutos de investigación ambiental han implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua.
- Indicador (%): el indicador asociado a la estrategia 3 (I_{E3}): Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico es definido como:

$$I_{E3} = \frac{AA_{IE}}{AA_T} * 100$$

Donde AA_{IE} corresponde al número de autoridades ambientales o institutos de investigación que han implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua y AA_T al total de autoridades ambientales o

institutos de investigación ambiental definidos en la meta.

En la Tabla 8 se presentan las líneas de acción, las finalidades y actividades para desarrollar esta línea estratégica para aportar al logro del objetivo general del PNMRRH.

Tabla 8. Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la línea estratégica 3. Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico.

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDAD	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
3.1. Implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento del IDEAM como entidad de referencia nacional en el monitoreo del recurso hídrico, el INVEMAR como entidad responsable del seguimiento de los recursos marinos de la nación y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente rector.	A diciembre de 2040 el IDEAM y el INVEMAR contarán con un programa institucional de monitoreo formulado y en marcha que integre aspectos de talento humano capacitado, procesos eficientes, herramientas e instrumentos que permitan visibilizar de manera oportuna información de monitoreo del recurso hídrico que cumpla con estándares de calidad.	3.1.1. Actualizar la plataforma de integración tecnológica del IDEAM para la articulación de la información de monitoreo del agua, generada en los sistemas de observación, medición y vigilancia del agua.	Plataforma de integración tecnológica en funcionamiento, incluyendo software de visualización, receptor de imágenes de satélite y plataforma para alertas.
		3.1.2. Implementar las acciones para el fortalecimiento y modernización de las redes de observación, medición y vigilancia hidrometeorológicas del IDEAM e INVEMAR con fines de referencia, pronóstico y alertas tempranas.	Red de observación medición y vigilancia hidrometeorológica del IDEAM e INVEMAR fortalecida.
		3.1.3. Adelantar acciones de mejoramiento continuo para la acreditación del laboratorio fisicoquímico y ambiental del IDEAM y para fortalecer el proceso de acreditación del INVEMAR.	Laboratorio acreditado de IDEAM con nueva sede. Ampliación de la acreditación en el INVEMAR
		3.1.4. Ajustar procesos y procedimientos del sistema de observación, medición y vigilancia de IDEAM e INVEMAR aplicando las directrices de gobierno en línea y sistema de gestión de calidad.	Documento en el que se definan y se describan las actividades inherentes al proceso requerido para la implementación y funcionamiento del SOMV
		3.1.5. Gestionar la creación gradual de cargos de personal profesional y técnico requerido por MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR.	Documento en el que presente la gestión de los cargos de personal requeridos por MinAmbiente, IDEAM e INVEMAR para el fortalecimiento del monitoreo del agua.
		3.1.6 Implementar un proceso de capacitación para el personal de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y autoridades ambientales regionales, relacionado con la implementación del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.	Realización de jornadas de capacitación.

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDAD	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
3.2. Implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento de las autoridades ambientales regionales como responsables del monitoreo del recurso hídrico en sus áreas de jurisdicción	A diciembre de 2040 el 100% de las redes de monitoreo de las autoridades ambientales hayan sido implementadas de acuerdo con su Programa Regional de Monitoreo formulado y en marcha reportando a los usuarios información de referencia, pronósticos y alertas del recurso hídrico.	3.2.1. Fortalecer las capacidades regionales para garantizar la implementación y sostenibilidad de los programas regionales de monitoreo del recurso hídrico garantizando la articulación e interoperabilidad con el sistema de observación, medición y vigilancia nacional.	Acciones de seguimiento a la implementación de los PIRMA, en la que se deben evidenciar el grado de cumplimiento de las metas proyectadas.
		3.2.2. Aplicar mecanismos y estrategias para la sostenibilidad técnica y financiera del monitoreo integral del recurso hídrico atendiendo los principios de gobernanza del agua.	Documento con estrategias y mecanismos definidos de sostenibilidad técnica y financiera del programa.
		3.2.3. Implementar las acciones para el fortalecimiento y modernización de las redes del sistema de observación, medición y vigilancia hidrometeorológicas, regionales con fines de referencia, pronóstico y alertas tempranas.	Acciones de seguimiento en la implementación de redes regionales de monitoreo del agua.
3.3 Desarrollar estrategias para la calibración de equipos, intercalibración entre laboratorios y acreditación de los mismos.	A diciembre de 2037 las entidades responsables del monitoreo del recurso hídrico, tengan operando sus líneas de acción contempladas en los Programas Regionales de Monitoreo del Agua (PIRMA), relacionadas con la utilización de equipos calibrados, procedimientos validados y requerimientos de acreditación de laboratorios.	3.3.1 Identificar, ajustar y actualizar los procesos de medición y calibración de los equipos que actualmente se tengan, y establecer los procedimientos correctivos a que haya lugar, en las mediciones de laboratorio y campo.	Informes de las acciones adelantadas con el Instituto Nacional de Metrología de Colombia para la calibración, operación y mantenimiento que deben cumplir los equipos utilizados en la medición en laboratorio y campo, por parte de las entidades públicas y privadas que realizan monitoreo.
		3.3.2 Definir estrategias regionales para acceder a los servicios de metrología y mantenimiento de equipos de monitoreo.	Líneas de acción definidas dentro de los programas monitoreo que incluyen los servicios de metrología y mantenimiento de equipos de monitoreo.
		3.3.3 Generar espacios de intercambio de experiencias relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico.	Realización jornadas de intercambio de experiencias relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico.
		3.3.4 Promover y atender los procesos de acreditación de laboratorios fisicoquímicos y ambientales de las autoridades ambientales y demás entidades responsables.	Reporte emitido por la oficina de acreditación del IDEAM con los laboratorios fisicoquímicos y ambientales acreditados.
		3.3.5 Establecer los lineamientos para la acreditación en la matriz marina de las AAC y otros laboratorios a partir de la articulación del INVEMAR con otras entidades.	Documento con los lineamientos para la acreditación de técnicas analíticas en la matriz agua marina establecidos y en aprobación por entidades competentes.

Fuente: elaboración propia

Para el fortalecimiento de capacidades para el monitoreo del agua de las entidades nacionales y regionales se debe contar en las entidades con personal técnico y profesional, con los perfiles y experiencia adecuados para llevar a cabo el monitoreo del agua superficial, subterránea, marina, de calidad, de bioindicación, de sedimentos, entre otros. Se consideran el equipamiento y la infraestructura para el establecimiento de las redes de observación, medición y vigilancia, se incluye la instalación de instrumentos de medición, sensores y dispositivos de transmisión de datos, así como los requerimientos de operación y mantenimiento para que se cumpla con los protocolos establecidos por el IDEAM y con las normas técnicas para la obtención y procesamiento de la información.

Es necesario el fortalecimiento de las plataformas tecnológicas destinadas a la integración de software, la recepción, procesamiento y visualización de datos procedente de diferentes fuentes tales como estaciones convencionales o automáticas, imágenes de satélite, radares, etc. Asimismo, se requiere la operación de radares meteorológicos, estaciones automáticas, repotenciación de estaciones y su automatización.

Además, es relevante el fortalecimiento y acreditación del laboratorio de calidad de agua del IDEAM como laboratorio de referencia y como entidad encargada de acreditar los laboratorios ambientales del país, incluyendo los de las autoridades ambientales regionales.

Por otra parte, se contempla el fortalecimiento de la acreditación del INVEMAR como laboratorio de referencia para los análisis en matriz marina, que es la base para unificar las técnicas analíticas de los laboratorios de las AAC en pro de generar resultados uniformes de calidad ambiental marina en el país. Así mismo, se elaborarán los lineamientos metodológicos de análisis de parámetros de interés en las matrices de aguas y sedimentos marinos que servirán como base para la acreditación de los laboratorios de las AAC ante el IDEAM.

El fortalecimiento de las capacidades regionales para el monitoreo está orientado a cubrir las

necesidades de las autoridades ambientales en los aspectos de talento humano, infraestructura de las redes de monitoreo, equipamiento, capacitación, estrategias de comunicación y fortalecimiento de la infraestructura de laboratorios.

Se considera necesaria la implementación de redes regionales de monitoreo de aguas subterráneas. Para ello, será necesario apropiarse los recursos financieros requeridos para costear la construcción de los puntos de agua subterránea destinados al monitoreo, así como de las campañas de muestreo fisicoquímico e isotópico y sus respectivos análisis. Igualmente, se considera necesario que para todas las autoridades ambientales regionales se realice el monitoreo fisicoquímico y de bioindicación de calidad del agua, así como, el de los ecosistemas especiales del área de jurisdicción.

Para el fortalecimiento del pronóstico y alertas tempranas en las regiones, además de la implementación y modernización de las redes de observación, medición y vigilancia del agua, se identificó la necesidad del establecimiento de, como mínimo, seis (6) centros regionales de pronóstico con sus respectivas sedes, equipamientos y personal para operar.

Para la consolidación del sistema de observación, medición y vigilancia se espera ajustar sus procesos y procedimientos aplicando las directrices de gobierno en línea, el sistema de gestión de calidad y los procesos requeridos para la evaluación y certificación de la calidad estadística de los datos hidrológicos y meteorológicos ante el DANE.

Para que los resultados del monitoreo tengan continuidad, calidad, oportunidad y cobertura, en el PNMRH se plantea la formulación de estrategias orientadas a conseguir alianzas entre entidades públicas y privadas, con sectores económicos y sociales, de tal manera que se garantice la sostenibilidad técnica y financiera del monitoreo integral del recurso hídrico, atendiendo los principios de gobernanza del agua.

Los costos estimados para esta línea estratégica tienen su mayor peso específico en el fortalecimiento y modernización de las redes de observación, medi-

ción y vigilancia hidrometeorológicas regionales con fines de referencia, pronóstico y alertas tempranas, seguido por el fortalecimiento de las capacidades regionales para garantizar la implementación y sostenibilidad de los PRIMA garantizando la articulación e interoperabilidad con el SIAC.

Estrategia 4. Comunicación, difusión y participación en el monitoreo del agua.

- Propósito de la estrategia: A diciembre de 2040 se han implementado estrategias y mecanismos articulados de participación, comunicación y difusión del monitoreo del agua en concordancia con los principios de gobernanza del agua (efectividad, eficiencia, confianza y participación).
- Meta general: Una (1) estrategia, protocolo, estándar o mecanismo anual de articulación, participación, comunicación o difusión del monitoreo del agua en los ámbitos nacional, regional o local
- Indicador (%): el indicador asociado a la estrategia 4 (I_{E4}): Comunicación, difusión y participación en el monitoreo del agua, es definido como:

$$I_{E4} = \frac{P}{15} * 100$$

Donde P corresponde al número de estrategias, protocolos, estándares o mecanismos de articulación, participación, comunicación o difusión del monitoreo del agua en los ámbitos nacional, regional y local. Es importante señalar, que en este indicador el 15 hace referencia al número de años durante el cual se implementará esta meta, la cual se contempló en el lapso entre el año 2026-2040.

En la Tabla 9 se presentan las líneas de acción, las finalidades y las actividades para desarrollar la comunicación y difusión y de esta manera aportar al logro del objetivo general del PNMRH.

La estrategia 4 es clave para la toma de decisiones, en especial en lo relacionado con el acceso a la información sobre predicciones y alertas tempranas para la gestión del riesgo en el ámbito regional y en articulación con el nivel nacional.

En la construcción del PNMRH fue reiterativo involucrar los datos e información proveniente de observaciones generadas por actores gremiales e institucionales y de la comunidad en general. Además, se incluyó la observación, medición y vigilancia sistemática del agua, a partir de estaciones de las redes hidrometeorológicas y ambientales y el procesamiento de observaciones satelitales.

En esta estrategia del programa se reconoce la importancia de tener acceso a información proveniente de las distintas formas de monitoreo de manera oportuna y clara. Para este propósito se considera necesario definir y utilizar protocolos y productos estandarizados de comunicación.

Además, los datos e información obtenidos a partir de reportes en el SIRH, el SIAM y el SIAC, deberán obedecer a protocolos y estándares, según se defina en las estrategias correspondientes. Cada una de las entidades responsables deberá definir su estrategia de comunicación, la cual deberá articularse a las directrices proporcionadas por MinAmbiente, IDEAM y el INVEMAR.

En este contexto, la implementación y documentación del proceso de desarrollo de los modelos de Sistemas de Alertas Tempranas (SAT) constituyen referentes clave de aplicación de herramientas y protocolos para la participación, comunicación y acceso a información proveniente del monitoreo del recurso hídrico.

4.5 Sostenibilidad Financiera

En este apartado se sugieren algunas de las posibles fuentes de financiamiento de los recursos necesarios para la implementación de las diferentes actividades previstas en el marco del PNMRH, estas son:

Tabla 9. Líneas de acción, finalidad, actividades y resultados de la estrategia 4. Comunicación, difusión y participación

LÍNEAS DE ACCIÓN	FINALIDAD	ACTIVIDADES	RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES
4.1. Definir instrumentos y herramientas de comunicación efectiva, permanente y articulada, del monitoreo del agua a los diferentes usuarios en los ámbitos nacional, regional y local.	A diciembre de 2040 se habrán formulado las estrategias y herramientas de comunicación y difusión del monitoreo del agua que cumplan con estándares y protocolos definidos por el IDEAM, el INVEMAR y MinAmbiente.	4.1.1. Definir estrategias y herramientas de comunicación a los usuarios de la información del monitoreo del recurso hídrico que permitan disponer la información de manera accesible y comprensible para diferentes tipos de público.	Herramientas implementadas y documento de estrategias de comunicación a los diferentes usuarios del agua.
		4.1.2. Generar reportes periódicos, y extraordinarios cuando amerite, para la comunicación y difusión a los diferentes usuarios de los datos e información del monitoreo del agua.	Reportes de acuerdo con lo definido en la estrategia de comunicación.
		4.1.3. Realizar jornadas de difusión y comunicación de la información del monitoreo del recurso hídrico, incluyendo las herramientas de comunicación definidas.	Realización de una jornada anual de difusión y comunicación de la información del monitoreo del recurso hídrico, incluyendo las herramientas de comunicación definidas
4.2. Definir mecanismos de participación de los usuarios en el monitoreo del agua.	A diciembre de 2040 se hayan desarrollado, estrategias, mecanismos y herramientas para incorporar información de monitoreo de sectores productivos y monitoreo participativo en los sistemas de observación, medición y vigilancia regionales articulados con los sistemas de monitoreo y de alertas tempranas nacionales.	4.2.1. Establecer criterios, lineamientos y estrategias para el monitoreo participativo y el involucramiento de actores sociales y usuarios del agua en el monitoreo.	Documento con criterios, lineamientos y estrategias para el monitoreo participativo y el involucramiento de actores sociales y usuarios del agua en el monitoreo.
		4.2.2. Formular estrategias y metodologías para la articulación entre los actores gremiales, sectores productivos y proyectos licenciados que realicen monitoreo del agua con el propósito de compartir información de sus monitoreos.	Informe que dé cuenta de la puesta en marcha de las estrategias y metodologías para la articulación entre los actores gremiales, sectores productivos y proyectos licenciados que realicen monitoreo del agua con el propósito de compartir información de sus monitoreos.
		4.2.3. Diseñar e implementar modelos participativos de Sistemas de Alertas Tempranas, en los niveles regional y local, articulados con el Sistema de Alertas Tempranas nacional (IDEAM) en áreas de riesgo prioritizadas.	Cinco (5) modelos de sistemas de alertas tempranas SAT, participativos en implementación.

Fuente: elaboración propia

- Recursos ordinarios de las entidades ejecutoras de actividades conexas con el PNMRH, en muchos casos requeridos como contrapartida de otros recursos y captados de otras fuentes de financiamiento, bien sea recursos de apoyo provenientes del presupuesto asignado al PNMRH, de las agencias de fomento a la gestión ambiental o de cooperación internacional. En

algunos casos pueden estar representados en recursos humanos, aportes en infraestructura o apoyo logístico.

- Recursos provenientes del Presupuesto General de la Nación a través del Banco de Proyectos de Inversión, B-PINES destinados al mantenimiento de las actividades inherentes a la administración y coordinación del PNMRH y a apoyar la ejecución de las actividades contempladas en el plan de acción.
- Recursos provenientes de la destinación del uno por ciento de proyectos objeto de licenciamiento ambiental, conforme lo establece la normativa vigente.
- Recursos gestionados y captados de fondos y agencias nacionales o internacionales de cooperación técnica y financiamiento de investigación científica, formación, capacitación, divulgación de información y actividades relacionadas con la conservación, recuperación y uso sostenible de los recursos naturales renovables. Dentro de esta categoría se identifican potencialmente recursos provenientes de MinCiencias, Fondo Nacional Ambiental - FONAM, Banco Interamericano de Desarrollo - BID, Banco Mundial, Gobierno Holandés, Agencia Francesa de Desarrollo - AFD, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, Organización de Estados Americanos - OEA, Fondo Mundial para el Medio Ambiente - GEF, Unión Europea - UE, Convención RAMSAR, Instituto de Recursos Mundiales - WRI. Además, otras ONG y fundaciones privadas.
- Recursos canalizados a través de convenios de cooperación con programas e instituciones extranjeras, en algunos casos representados en recursos humanos, asesorías, cursos, pasantías, donación de equipos e información. Dentro de esta categoría pueden identificarse, entre otras,

Organización Meteorológica Mundial - OMM, Organización Marítima Internacional - OMI, Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica - NOAA, Agencia de Protección Ambiental - EPA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - UNEP, entre otros.

Las autoridades ambientales pueden obtener aportes provenientes del cobro de tasas retributivas por vertimiento o tasas por uso de agua y destinarlos a actividades específicas del PNMRH en su respectiva jurisdicción.

4.6 Seguimiento y evaluación del programa

El proceso de seguimiento y evaluación tendrá en cuenta el avance anual de cada una de las metas e indicadores definidos para las estrategias del PNMRH y se realizarán revisiones, en las etapas intermedias y finales, del desarrollo del plan de acción. Para ello, las instituciones competentes y responsables proporcionarán la información necesaria conforme lo defina MinAmbiente.

Los resultados deberán cumplir con los siguientes criterios: (1) eficacia ambiental, (2) equidad entre costos y beneficios económicos, (3) flexibilidad y eficiencia administrativa y (4) cálculo de tiempo y beneficios ambientales netos. MinAmbiente publicará periódicamente los avances y evaluaciones en la implementación del PNMRH.

4.7 Plan de acción

El plan de acción del PNMRH está compuesto por el propósito del programa, estrategias, líneas de acción, actividades, metas, resultados e indicadores. Además, se incluyen los planes operativos de cada una de las estrategias del programa, en los cuales se establecen los responsables, las entidades involucradas y los recursos requeridos.

Plan de Acción del Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico

Consolidación del sistema de Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua para la información y conocimiento del recurso hídrico.										
<p>Propósito 1. A diciembre de 2030 se habrá consolidado un sistema de Observación, Medición y Vigilancia continua y sistemática del agua con cobertura nacional y regional que soporte la gestión integrada del recurso hídrico incluyendo las aguas marinas. Además, será interoperable con los subsistemas del SIA – SIAC</p> <p>Meta general 1. lograr que 40 Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental implementen acciones para consolidar el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia -SOMV- continua y sistemática del agua (nacional y regional) con oportunidad y calidad al Sistema de información ambiental para Colombia (SIAC) y al Sistema de alertas tempranas.</p> <p>Indicador 1. ($I_{Ei}\%$): $I_{Ei} = \frac{E_i}{E_T} * 100$, donde E_i corresponde al Número de Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental que han implementado acciones para consolidar el sistema de observación, medición y vigilancia -SOMV en el SIAC y E_T al total de Autoridades Ambientales o Institutos de investigación ambiental definidos en la meta.</p>										
ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLES	¿Con quién?	RECURSOS			Resultados	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 1.1. Línea de Acción 1.1. Articular acciones y estrategias nacionales y regionales para la consolidación y fortalecimiento del sistema de observación, y medición continua y sistemática del recurso hídrico										
A.1.1.1.	1.1.1. Definir lineamientos y estrategias de interoperación del sistema de observación y medición nacional y regional.	Enero de 2021	Diciembre de 2030	IDEAM MinAmbiente	SINCHI IIAP, IAvH, PNN, ANLA e INVEMAR.	Herramientas informáticas	Consultoría multidisciplinar con el acompañamiento del grupo de trabajo integrado por profesionales especializados del IDEAM y MinAmbiente, con el acompañamiento de las Autoridades Ambientales	N/A	Documento con los lineamientos y estrategias de interoperación del Sistema.	Se prevé un grupo interdisciplinario de alto nivel compuesto por especialistas, para trabajar con el IDEAM y MinAmbiente.
A.1.1.2.	1.1.2. Formular y/o fortalecer los programas de monitoreo del recurso hídrico de las entidades competentes en el marco del sistema de observación y medición.	Enero de 2020	Diciembre de 2030	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR Y Autoridades Ambientales Regionales	Unidad de Gestión del Riesgo, entidades territoriales, sectores sociales, económicos y la academia.	Herramientas informáticas	Grupos de consultoría con el acompañamiento de un equipo de funcionarios de cada entidad competente	N/A	Treinta y cinco (35) programas de monitoreo de recurso hídrico formulados y/o fortalecidos.	Los 35 programas de monitoreo del recurso hídrico formulados y/o fortalecidos corresponden a los formulados por: 33 Corporaciones Autónomas regionales, 1 por el IDEAM y 1 por el INVEMAR.
A.1.1.3.	1.1.3. Definir y validar modelos funcionales y estrategias de alertas tempranas del recurso hídrico con un enfoque de interoperabilidad nacional y regional integrado al sistema de observación y medición.	Enero de 2025	Diciembre de 2030	IDEAM y Autoridades Ambientales Regionales	Entes territoriales	Herramientas informáticas	Grupos de consultoría con el acompañamiento de un equipo de funcionarios de IDEAM	N/A	Documento con la propuesta de modelos.	La validación de los modelos funcionales se realizará con cinco (5) Autoridades Ambientales
A 1.2. Línea de Acción 1.2. Integrar el Sistema de Observación, Medición y Vigilancia del Agua (SOMV) al Sistema de Información Ambiental para Colombia (SIAC).										
A.1.2.1.	1.2.1. Ajustar los instrumentos y herramientas de captura, preanálisis, control de calidad y transmisión del sistema de observación y medición con los procesos de asimilación, procesamiento, modelación, análisis y difusión de datos e información del Sistema de Información Ambiental para Colombia (incluyendo SIRH y SIAM).	Enero de 2020	Diciembre de 2028	IDEAM, INVEMAR Y MinAmbiente	Autoridades Ambientales competentes, ANLA, DIMAR.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales de alta calidad para el fortalecimiento del SIRH	N/A	Sistema de información del recurso hídrico -SIRH ajustado y Sistema de Información Ambiental Marino costera -SIAM operando a nivel nacional y regional. Elaboración de manuales de usuario.	Los recursos corresponden a la contratación de grupos de profesionales para el mantenimiento evolutivo, soporte técnico y temático del Sistema de Información del Recurso Hídrico por parte de IDEAM, INVEMAR y MinAmbiente alimentado por las autoridades ambientales.
A.1.2.2.	1.2.2. Establecer estrategias y mecanismos para garantizar el flujo de información de monitoreo del agua entre las entidades competentes de los niveles nacional y regional.	Enero de 2022	Diciembre de 2028	IDEAM, MinAmbiente	INVEMAR, Autoridades Ambientales Competentes.	Herramientas informáticas	Al menos un funcionario o contratista de apoyo al flujo de información por entidad.	Recursos de funcionamiento de cada entidad.	Documento con estrategias y mecanismos para incorporar al sistema de observación y medición, la información de monitoreo proveniente de autoridades ambientales.	Esta actividad está relacionada con el fortalecimiento y mantenimiento evolutivo del SIRH.

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLES	¿Con quién?	RECURSOS			Resultados	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 1.2.3	1.2.3. Desarrollar estrategias y mecanismos para incorporar al sistema de observación y medición la información de monitoreo proveniente de los proyectos licenciados, monitoreo participativo, sectores productivos, entidades territoriales, y del sector privado y empresas de servicios públicos.	Enero de 2021	Diciembre de 2028	IDEAM, MinAmbiente	INVEMAR, Autoridades Ambientales, ANLA, sectores productivos, entidades territoriales, sector privado, empresas de servicios públicos y comunidad.	Herramientas informáticas	Grupos de profesionales con el acompañamiento de un equipo de funcionarios de IDEAM, INVEMAR y MinAmbiente.	N/A	Estándares (junto con los actos normativos acordes) que permitan articular la información no sistemática proveniente de los proyectos licenciados, monitoreo participativo, sectores productivos, entidades territoriales, del sector privado y empresas de servicios públicos, con el sistema de observación, medición y vigilancia continua y sistemática del agua.	Esta actividad está relacionada con el fortalecimiento y mantenimiento evolutivo del SIRH. Además, está relacionada con el documento de lineamientos para la interoperación del Sistema.

Estrategia 2:
Investigación e innovación tecnológica para el monitoreo del agua.

Propósito 2.: A diciembre de 2040 las entidades responsables del sistema de observación y medición y vigilancia del recurso hídrico, con el apoyo de universidades, centros de investigación y entidades privadas, deberán haber formulado e implementado acciones y estrategias de investigación e innovación del monitoreo del agua

Meta general 2. Una (1) investigación bial producida, divulgada e incorporada en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.

Indicador 2. ($I_{E2}\%$): $I_{E2} = \frac{I_{PDI}}{8} * 100$, donde I_{PDI} corresponde al número de investigaciones producidas, divulgadas e incorporadas en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua. Es importante señalar, que en este indicador el denominador (8) corresponde al número mínimo de investigaciones esperado en el periodo en el que se implementará esta meta, es decir en el lapso comprendido entre el año 2025-2040

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLE	¿Con quién?	RECURSOS			RESULTADOS	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 2.1. Línea de Acción 2.1: Investigar y divulgar nuevas técnicas y tecnologías para el monitoreo, usando satélites, radares, drones, cámaras de video y otros equipos, bioindicación, monitoreo participativo, etc.										
A 2.1.1	2.1.1. Integrar una red de investigadores compuesta por las universidades y centros de investigación que apoye al Comité Científico Interinstitucional del SINA, para la priorización de temas de investigación pertinentes para el monitoreo del agua, en el marco del Programa Nacional de Investigación del recurso hídrico.	Enero de 2024	Diciembre de 2029	MinAmbiente y una Entidad que ejerza como Secretaría Técnica del Comité Científico del SINA.	MinCiencias, IDEAM, INVEMAR, Instituto Alexander von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IAP, investigadores, grupos de investigación, universidades, centros e institutos de investigación.	Herramientas informáticas	Grupos de profesionales de MinAmbiente con el acompañamiento de un equipo de funcionarios de IDEAM, INVEMAR, y los demás institutos de investigación. Asimismo, se requerirá el apoyo de profesionales adscritos a universidades, centros e institutos de investigación, entre otros.	N/A	Aplicativo web interoperable con el SIA - SIAC, que cumpla con los lineamientos definidos por la estrategia de Gobierno en Línea con el directorio de investigadores, centros de investigación y grupos de investigación, que conforman la red de investigadores en materia de monitoreo del agua.	Los recursos económicos corresponden a la creación y gestión de la red, y al diseño, operación y mantenimiento de la página web para vincular el directorio de actores al SIAC. temas de investigación de interés para el país: monitoreo de sedimentos, monitoreo de contaminantes emergentes, monitoreo de contaminación difusa, sensores remotos, entre otros
A 2.1.2	2.1.2. Desarrollar proyectos de investigación de técnicas y tecnologías de monitoreo del agua.	Enero de 2025	Diciembre de 2040	IDEAM, INVEMAR, Instituto Alexander Von Humboldt, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IAP	MinAmbiente, MinCiencias, MinVivienda, investigadores, grupos de investigación, universidades, centros e institutos de investigación y sectores productivos.	Infraestructura propia de Universidades, los institutos de investigación adscritos y vinculados a MinAmbiente, Grupos y Centros de investigación, entre otros. Además, es necesario contar con Herramientas informáticas.	Integrantes de grupos y centros de investigación de Universidades, Instituciones y asesores internacionales. Asimismo, se requieren profesionales de los diferentes centros de investigación adscritos y vinculados a MinAmbiente.	Información de fuentes externas producida por radares, satélites y demás dispositivos de alta tecnología.	Informes de los proyectos de investigación publicados en los portales institucionales y en el SIAC.	N/A

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLE	¿Con quién?	RECURSOS			RESULTADOS	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 2.2. Línea de Acción 2.2: Desarrollar y validar procedimientos para incorporar análisis de confiabilidad e incertidumbre en los procesos que componen el monitoreo (observación, medición, control de calidad del dato, etc).										
A 2.2.1	2.2.1. Validar y aplicar metodologías para el análisis de confiabilidad e incertidumbre de los datos e información proveniente del monitoreo del agua, a nivel nacional y regional.	Enero de 2022	Diciembre de 2040	IDEAM	MinAmbiente, INVEMAR, Red de investigación, Colciencias, otros grupos de investigación y entidades del SINA.	Plataforma de gestión de datos e información del IDEAM e INVEMAR.	Investigadores de la Red de Investigación que interactúan con los profesionales de IDEAM e INVEMAR que tienen a su cargo los diferentes componentes de la Red de Monitoreo.	N/A	Documentos con resultados de estudios que contengan las metodologías y herramientas para realizar los análisis de confiabilidad e incertidumbre de los datos y de la información.	N/A
A 2.2.2	2.2.2. Desarrollar aplicaciones y herramientas para incorporar los productos y resultados de la investigación en los procesos del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.	Enero de 2023	Diciembre de 2040	IDEAM	MinAmbiente, INVEMAR, Red de investigación, otros grupos de investigación y entidades del SINA.	Plataforma tecnológica de gestión de datos e información del IDEAM e INVEMAR.	Investigadores de la Red de Investigación que interactúan con los profesionales de IDEAM e INVEMAR que tienen a su cargo los diferentes componentes de la Red de Monitoreo.	N/A	Documentación de soporte para incorporar los resultados de la investigación al sistema de observación, medición y vigilancia del agua, en los niveles nacional y regional.	N/A
A 2.3. Línea de Acción 2.3: Desarrollar estrategias para el monitoreo del agua en los ecosistemas especiales (glaciares, páramos, humedales, arrecifes de coral, manglares, pastos marinos, ambiente pelágico, litoral rocoso, playas arenosas y lagunas costeras) y evaluación del riesgo.										
A 2.3.1	2.3.1. Evaluar y ajustar los procesos y procedimientos existentes del monitoreo del agua en los ecosistemas acuáticos especiales.	Enero de 2020	Diciembre de 2032	MinAmbiente e IDEAM.	Institutos de investigación del SINA y Red de Investigadores.	Infraestructura propia de MinAmbiente y del IDEAM	Grupo de trabajo integrado por expertos en: hidrología, sedimentología, geología, biología, bioindicación, teledetección, sistemas y calidad del agua, vinculados a la red de investigación.	Asesores internacionales	Documento con resultados de investigación sobre el diagnóstico y recomendaciones para el mejoramiento del monitoreo del agua en ecosistemas especiales en Colombia, atendiendo a sus particularidades. Protocolos para el monitoreo de cuerpos hídricos especiales acorde con sus particularidades.	Elaborado con base en un análisis comparativo de las prácticas actuales de monitoreo del agua utilizadas en ecosistemas especiales colombianos, con prácticas exitosas en otros países.
A 2.3.2	2.3.2. Desarrollar estrategias y metodologías para el monitoreo mediante sistemas de alertas tempranas y evaluación del riesgo.	Enero de 2020	Diciembre de 2032	IDEAM	MinAmbiente, INVEMAR, SGC y Red de Investigadores.	Infraestructura propia del IDEAM	Integrantes de la Red de Investigación con grupos de trabajo de las entidades competentes.	N/A	Líneas y metodologías para el monitoreo requerido por los sistemas de alerta temprana, acorde con sus particularidades.	N/A

Fortalecimiento institucional y de capacidades para el monitoreo del recurso hídrico

Propósito 3: A diciembre de 2040 se habrán implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua que requiere el país en concordancia con los principios de gobernanza del agua (efectividad, eficiencia, confianza y participación).

Meta general 3. 40 autoridades ambientales o institutos de investigación ambiental han implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua.

Indicador 3. (I_{ES}%): $I_{ES} = \frac{AA_E}{AA_T} * 100$, donde AA_E corresponde al número de autoridades ambientales o institutos de investigación que han implementado acciones y estrategias para fortalecer las capacidades nacionales y regionales para el monitoreo del agua y AA_T al total de autoridades ambientales o institutos de investigación ambiental definidos en la meta

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLE	Con quién	RECURSOS			RESULTADOS	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 3.1. Línea de Acción 3.1: Implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento del IDEAM como entidad de referencia nacional en el monitoreo del recurso hídrico, el INVEMAR como entidad responsable del seguimiento de los recursos marinos de la nación y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, como ente rector.										
A 3.1.1	3.1.1. Actualizar la plataforma de integración tecnológica del IDEAM para la articulación de la información de monitoreo del agua, generada en los sistemas de observación, medición y vigilancia del agua.	Enero de 2020	Diciembre de 2035	IDEAM	Fondos de financiamiento ambiental, cooperación internacional, sector privado, porcentaje de inversión de proyectos objeto de licenciamiento ambiental.	Plataforma y desarrollo y/o compra de software	Consultoría interactuando con profesionales de informática, redes y las subdirecciones de hidrología y meteorología del IDEAM.	N/A	Plataforma de integración tecnológica en funcionamiento, incluyendo software de visualización, receptor de imágenes de satélite y plataforma para alertas.	N/A

ACTIVIDADES		CRONOGRAMA		RESPONSABLE	Con quién	RECURSOS			RESULTADOS	OBSERVACIONES
		INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS		
A 3.1.3	3.1.3. Adelantar acciones de mejoramiento continuo para la acreditación del laboratorio fisicoquímico y ambiental del IDEAM y para fortalecer el proceso de acreditación del INVEMAR.	Enero de 2020	Diciembre de 2040	IDEAM INVEMAR	Fondos de financiamiento ambiental, cooperación internacional, sector privado, porcentaje de inversión de proyectos objeto de licenciamiento ambiental.	Infraestructura tecnológica y operativa propia del IDEAM y del INVEMAR	Grupo de profesionales técnicos del IDEAM y del INVEMAR.	N/A	Laboratorio acreditado de IDEAM. Ampliación de la acreditación en el INVEMAR.	Para esta actividad, asociado al laboratorio del IDEAM, se tendrán en cuenta los siguientes elementos: dotación y reposición de equipos, seguimiento anual y pruebas de desempeño, contratación de personal, capacitación de profesionales en monitoreo, mantenimiento de equipos reactivos e insumos, estaciones de monitoreo y la red de isotopía
A 3.1.4	3.1.4. Ajustar procesos y procedimientos del sistema de observación, medición y vigilancia de IDEAM e INVEMAR aplicando las directrices de gobierno en línea y sistema de gestión de calidad.	Enero de 2021	Diciembre de 2030	IDEAM e INVEMAR	MinAmbiente	Infraestructura tecnológica y operativa propia del IDEAM y del INVEMAR	Grupo de profesionales técnicos del IDEAM y del INVEMAR.	N/A	Documento en el que se definan y se describan las actividades inherentes al proceso requerido para la implementación y funcionamiento del SOMV	Este documento es considerado el insumo requerido para establecer el procedimiento para la implementación y funcionamiento del SOMV en el marco del sistema de gestión de calidad de estas entidades (INVEMAR e IDEAM).
A 3.1.5	3.1.5. Gestionar la creación gradual de cargos de personal profesional y técnico requerido por MinAmbiente, IDEAM e INVEMAR.	Enero de 2020	Diciembre de 2035	IDEAM	INVEMAR, DNP, Ministerio de Hacienda y crédito público, Comisión Nacional del Servicio Civil, Departamento Administrativo de la Función Pública, Minambiente.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales técnicos del IDEAM, INVEMAR y de MinAmbiente.	N/A	Documento en el que presente la gestión de los cargos de personal requeridos por MinAmbiente, IDEAM e INVEMAR para el fortalecimiento del monitoreo del agua.	N/A
A 3.1.6	3.1.6 Implementar un proceso de capacitación para el personal de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y autoridades ambientales regionales, relacionado con la implementación del sistema de observación, medición y vigilancia del agua.	Enero de 2020	Diciembre de 2040	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, DIMAR y Autoridades ambientales	Institutos de investigación, universidades y centros de investigación, UNGRD.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales técnicos del IDEAM, INVEMAR, DIMAR, Autoridades Ambientales y de MinAmbiente.	N/A	Realización de jornadas de capacitación.	N/A
A 3.2. Línea de Acción 3.2: Implementar acciones estratégicas para el fortalecimiento de las autoridades ambientales regionales como responsables del monitoreo del recurso hídrico en sus áreas de jurisdicción										
A 3.2.1	3.2.1. Fortalecer las capacidades regionales para garantizar la implementación y sostenibilidad de los programas regionales de monitoreo del recurso hídrico garantizando la articulación e interoperabilidad con el sistema de observación, medición y vigilancia nacional.	Enero de 2022	Diciembre de 2040	Autoridades Ambientales en su área de jurisdicción.	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, Autoridades ambientales competentes, universidades, instituciones y sectores privados, porcentaje de inversión de proyectos objeto de licenciamiento ambiental, fondos de financiamiento ambiental y cooperación internacional.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales.	Grupo de profesionales técnicos de las Autoridades Ambientales, IDEAM, INVEMAR y MinAmbiente.	N/A	Acciones de seguimiento a la implementación de los PIRMA, en la que se deben evidenciar el grado de cumplimiento de las metas proyectadas.	Las acciones de seguimiento deberán dar cuenta sobre el avance en los siguientes aspectos: Diseño, implementación y articulación de las redes de monitoreo regionales complementarias y específicas, y la capacidad técnica del personal responsable del monitoreo, equipamiento, capacitación, estrategias de comunicación y el fortalecimiento de la infraestructura de laboratorios, entre otros.
A 3.2.2	3.2.2. Aplicar mecanismos y estrategias para la sostenibilidad técnica y financiera del monitoreo integral del recurso hídrico atendiendo los principios de gobernanza del agua.	Enero de 2020	Diciembre de 2040	Autoridades Ambientales en su área de jurisdicción.	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, Autoridades ambientales competentes, universidades, instituciones y sectores privados, porcentaje de inversión de proyectos objeto de licenciamiento ambiental, fondos de financiamiento ambiental y cooperación internacional.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales.	Grupo de profesionales técnicos de las Autoridades Ambientales, IDEAM, INVEMAR y MinAmbiente.	N/A	Documento con estrategias y mecanismos definidos de sostenibilidad técnica y financiera del programa.	N/A

ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLE	Con quién	RECURSOS			RESULTADOS	OBSERVACIONES	
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	OTROS			
A 3.3. Línea de Acción 3.3: Desarrollar estrategias para la calibración de equipos, intercalibración entre laboratorios y acreditación de los mismos.										
A 3.3.1	3.3.1 Identificar, ajustar y actualizar los procesos de medición y calibración de los equipos que actualmente se tengan, y establecer los procedimientos correctivos a que haya lugar, en las mediciones de laboratorio y campo.	Enero de 2021	Diciembre de 2030	Autoridades Ambientales Competentes e IDEAM	INVEMAR, Instituto Nacional de Metrología de Colombia.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales y del IDEAM.	Grupo de profesionales técnicos de las Autoridades Ambientales y del IDEAM	N/A	Informes de las acciones adelantadas con el Instituto Nacional de Metrología de Colombia para la calibración, operación y mantenimiento que deben cumplir los equipos utilizados en la medición en laboratorio y campo, por parte de las entidades públicas y privadas que realizan monitoreo.	N/A
A 3.3.2	3.3.2 Definir estrategias regionales para acceder a los servicios de metrología y mantenimiento de equipos de monitoreo.	Enero de 2021	Diciembre de 2030	Autoridades Ambientales Competentes e IDEAM	INVEMAR, Instituto Nacional de Metrología de Colombia.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales y del IDEAM.	Grupo de profesionales técnicos de las Autoridades Ambientales y del IDEAM	N/A	Líneas de acción definidas dentro de los programas monitoreo que incluyen los servicios de metrología y mantenimiento de equipos de monitoreo.	N/A
A 3.3.3	3.3.3 Generar espacios de intercambio de experiencias relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico.	Enero de 2020	Diciembre de 2030	Autoridades Ambientales Competentes	IDEAM, MinAmbiente, INVEMAR, y otras entidades privadas que levantan información.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales Competentes.	Profesionales de las entidades del SINA e Instituciones de la Red de Investigación	N/A	Realización jornadas de intercambio de experiencias relacionadas con el monitoreo del recurso hídrico.	N/A
A 3.3.4	3.3.4 Promover y atender los procesos de acreditación de laboratorios fisicoquímicos y ambientales de las autoridades ambientales y demás entidades responsables.	Enero de 2020	Diciembre de 2037	Autoridades Ambientales y demás entidades responsables	IDEAM	Infraestructura tecnológica y operativa propia de las Autoridades Ambientales Competentes.	Grupo de profesionales técnicos de las Autoridades Ambientales	N/A	Reporte emitido por la oficina de acreditación del IDEAM con los laboratorios fisicoquímicos y ambientales acreditados.	Esta actividad deberá contemplarse en los programas regionales de monitoreo del recurso hídrico
A 3.3.5	3.3.5 Establecer los lineamientos para la acreditación en la matriz marina de las AAC y otros laboratorios a partir de la articulación del INVEMAR con otras entidades.	Enero de 2024	Diciembre de 2037	INVEMAR e IDEAM	Autoridades Ambientales Competentes y MinAmbiente	Infraestructura tecnológica y operativa propia del INVEMAR e IDEAM	Profesionales adscritos al INVEMAR y al IDEAM.	N/A	Documento con los lineamientos para la acreditación de técnicas analíticas en la matriz agua marina establecidos y en aprobación por entidades competentes.	N/A

<p>4. Comunicación, difusión y participación en el monitoreo del agua.</p> <p>Propósito 4. A diciembre de 2040 se han implementado estrategias y mecanismos articulados de participación, comunicación y difusión del monitoreo del agua en concordancia con los principios de gobernanza del agua (efectividad, eficiencia, confianza y participación).</p> <p>Meta general 4. Una (1) estrategia, protocolo, estándar o mecanismo anual de articulación, participación, comunicación o difusión del monitoreo del agua en los ámbitos nacional, regional o local.</p> <p>Indicador 4. $(\%I_{EA}) = \frac{P}{15} * 100$, donde P corresponde al número de estrategias, protocolos, estándares o mecanismos de articulación, participación, comunicación o difusión del monitoreo del agua en los ámbitos nacional, regional y local. Es importante señalar, que en este indicador el 15 hace referencia al número de años durante el cual se implementará esta meta, la cual se contempló en el lapso entre el año 2026-2040.</p>										
ACTIVIDADES	CRONOGRAMA		RESPONSABLE	¿Con quién?	RECURSOS			OBSERVACIONES		
	INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	RESULTADOS		OTROS	
A 4.1. Línea de Acción 4.1. Definir instrumentos y herramientas de comunicación efectiva permanente y articulada del monitoreo del agua a los diferentes usuarios del nivel nacional, regional y local.										
A 4.1.1	Actividad 4.1.1. Definir estrategias y herramientas de comunicación a los usuarios de la información del monitoreo del recurso hídrico que permitan disponer la información de manera accesible y comprensible para diferentes tipos de público.	Enero de 2020	Diciembre de 2030	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	SINCHI, IAP, IAvH, PNN, ANLA, fondos de financiamiento ambiental y cooperación internacional, universidades, sectores productivos, UNESCO, SIWI, Red de Investigadores, y otros.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales técnicos de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y de las Autoridades Ambientales Competentes	Resultado 4.1.1. Herramientas en implementación y documento de estrategias de comunicación a los diferentes usuarios del agua.	N/A	N/A

A 4.1.2	Actividad 4.1.2. Generar reportes periódicos, y extraordinarios cuando se amerite, para la comunicación y difusión a los diferentes usuarios de los datos e información del monitoreo del agua.	Enero de 2023	Diciembre de 2040	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	SINCHI, IIAF, IAvH, PNN, ANLA, fondos de financiamiento ambiental y cooperación internacional, universidades, sectores productivos, UNESCO PHI, SIWI, Red de Investigadores, y otros.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales técnicos de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y de las Autoridades Ambientales Competentes	Resultado 4.1.2. Reportes de acuerdo con lo definido en la estrategia de comunicación.	N/A	N/A
ACTIVIDADES		CRONOGRAMA		RESPONSABLE	¿Con quién?	RECURSOS				OBSERVACIONES
		INICIO	FIN			TÉCNICOS	HUMANOS	RESULTADOS	OTROS	
A 4.2.	Línea de Acción 4.2: Definir mecanismos de participación de los usuarios en el monitoreo del agua.									
A 4.2.1	Actividad 4.2.1. Establecer criterios, lineamientos y estrategias para el monitoreo participativo y el involucramiento de actores sociales y usuarios del agua en el monitoreo.	Enero de 2024	Diciembre de 2035	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	Actores sociales, comunidades de base, ONGs, Entes Territoriales, Red de Investigadores, Universidades y los demás institutos de investigación vinculados a MinAmbiente.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	Grupo de profesionales técnicos de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y de las Autoridades Ambientales Competentes	Resultado 4.2.1. Documento con criterios, lineamientos y estrategias para el monitoreo participativo y el involucramiento de actores sociales y usuarios del agua en el monitoreo.	N/A	N/A
A 4.2.2	Actividad 4.2.2. Formular estrategias y metodologías para la articulación entre los actores gremiales, sectores productivos y proyectos licenciados que realicen monitoreo del agua con el propósito de compartir información de sus monitoreos.	Enero de 2025	Diciembre de 2035	MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	Actores gremiales, sectores productivos, estudios sectoriales y proyectos licenciados que realicen monitoreo del agua.	Infraestructura tecnológica y operativa propia de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR, y Autoridades Ambientales Competentes	Grupo de profesionales técnicos de MinAmbiente, IDEAM, INVEMAR y de las Autoridades Ambientales Competentes	Resultado 4.2.2. Informe que dé cuenta de la puesta en marcha de las estrategias y metodologías para la articulación entre los actores gremiales, sectores productivos y proyectos licenciados que realicen monitoreo del agua con el propósito de compartir información de sus monitoreos.	N/A	Los estudios sectoriales hacen alusión a aquellos financiados con recursos de los sectores económicos (Minero, Energético, entre otros).
A 4.2.3	Actividad 4.2.3. Diseñar e implementar modelos participativos de Sistemas de Alertas Tempranas, en los niveles regional y local, articulados con el Sistema de Alertas Tempranas nacional (IDEAM) en áreas de riesgo priorizadas.	Enero de 2021	Diciembre de 2040	IDEAM	Autoridades Ambientales Competentes, INVEMAR, DIMAR, UNGR, Entidades Territoriales y MinAmbiente.	Herramientas informáticas	Grupo de profesionales técnicos de IDEAM y de MinAmbiente.	Resultado 4.2.3. Cinco (5) modelos de sistemas de alertas tempranas SAT, participativos en implementación.	N/A	Al menos (1) modelo SAT para cada una de las cinco (5) Macrocuencas.

BIBLIOGRAFÍA

- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (2012). *Documento Conpes. Estrategia institucional y financiera de la red hidrológica, meteorológica y oceanográfica del país*. Bogotá: Sin publicar .
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -Minambiente, IDEAM. (2014). *Programa nacional de aguas subterráneas*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; IDEAM.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Colombia. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -Mintic. (2014). <http://estrategia.gobiernoenlinea.gov.co/623/w3-channel.html>.
- Chaphekar, S. (1991). An overview on bioindicators. *J. Env. Biol.*, 12, 163 - 168.
- COSUDE, CORTOLIMA. (2011). https://www.google.com.co/?gws_rd=ssl#q=Cosude+%2B+Sistema+de+Alerta+Temprana++rio+Coello&start=20.
- Econometría Consultores, DNP. (2011). *Evaluación de la capacidad del IDEAM para producir la información hidrológica, meteorológica y ambiental que necesita el país. Informe final y bases de datos*. Bogotá.
- EPAM. (2011). *Ajuste del programa nacional de monitoreo del recurso hídrico y la determinación de la estrategia de su implementación respondiendo a los indicadores ambientales de seguimiento del recurso hídrico*. Contrato 214 de 2010 Minambiente-IDEAM. Bogotá, D.C., Colombia: Sin publicar.
- Holling, C. S., & Walters, C. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*.
- IDEAM. (2002). *Perfil del estado de los recursos naturales y el medio ambiente en Colombia. Tomo I*. Bogotá .
- IDEAM. (2002). *Protocolo para el monitoreo de los vertimientos en aguas superficiales y subterráneas*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2004). *Guía para monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2006). *Guía y proptocolos del monitoreo y seguimiento del agua. Informe final Contrato de servicios de Consultoría C-0427-05, SanchezZ F*. Bogotá: Sin publicar.
- IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá.
- IDEAM. (2014). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- IDEAM. (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- IDEAM, INVEMAR, INS, Conservación Internacional, Banco Mundial. (2012). https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/Plan_nacional_de_adaptacion/Proyecto_nacional_de_adaptacion_al_cambio_climatico_INAP.pdf.

- IDEAM, OMM, AEMET -Cliber Colombia. (2009). *Fortalecimiento del IDEAM en apoyo a la vigilancia hidrometeorológica, la gestión integral del riesgo de desastres y el cambio climático en Colombia*. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- IDEAM, Pabón y Garcia. (1996). *Modelo Conceptual de los componentes hidrológico, oceanográfico, meteorológico y climatológico del Sistema de información ambiental*. Bogotá: Nota Técnica del IDEAM.
- IDEAM, Subdirección de Hidrología. (2015). *Red básica nacional de aguas subterráneas*. Bogotá: Sin publicar.
- Instituto Alexander von Humboldt. (2015). *Colombia Anfibia*. Bogotá: ISBN obra digital 978-958-8889-47-4.
- Instituto de Hidrología Meteorología y estudios ambientales -IDEAM-. (2013). *Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua ERAS*. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- INVEMAR y MINAMBIENTE. (2019). Programa Nacional de Monitoreo del Recurso Hídrico. Componente Marino Costero. Informe Técnico Final. Actividad 3. Convenio 480-2019, Santa Marta 243 p.
- INVEMAR, MINAMBIENTE. (2014). *Convenio Interadministrativo No 190 de 2014 entre el Minambiente e Invepar: Elementos técnicos que permitan establecer medidas de manejo, control, uso sostenible y restauración de los ecosistemas costeros y marinos del país*. Código: ACT-BEM-001-014. Bogotá.
- Ley General Ambiental de Colombia. Ley N° 99 (1993). *Diario Oficial No. 41.146, de 22 de diciembre de 1993*. República de Colombia - Gobierno Nacional.
- Lovett-Doust, J., Schmidt, M., & Lovett-Doust, L. (1994). *Biological assessment of aquatic pollution: A review with emphasis on plants as biomonitors*. *Biol. Rev.*, 69, 147- 186.
- Markert, B. A., Breure, A. M., & Zechmeister, H. G. (Eds.). (2003). *Bioindicators and biomonitors*. Elsevier.
- OMM. (2012). *Guía de prácticas hidrológicas No 168*. Ginebra - Suiza: OMM - 6a Edición.
- Ponce, E. (2000). *Estudio de legislación de aguas, caso Colombia*. Comité Jurídico UICN. Bogotá.
- Prat, N. (1998). *Bioindicadores de calidad de aguas*. Manuscritos del curso *Bioindicadores de calidad de aguas*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ringold, P. L., Alegria, J., Czaplewski, R. L., Mulder, B. S., Tolle, T., & Burnett, K. (1996). *Adaptive monitoring design for ecosystem management*. *Ecological applications*, 6(3), 745-747.
- Roldán. (2012). *Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua*. Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Sors. (1987). *Citado por Instituto Nacional de Ecología*. 2010. *Monitoreo Ambiental*. México: Disponible en <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/105/8.html>.
- UNESCO. (2006). *Segundo informe sobre desarrollo mundial de los recursos hídricos del mundo "el Agua una responsabilidad compartida"*. París: Disponible en internet www.unesdoc.unesco.org/ianges0014/001144409s.pdf
- Van Hofwegen, P. J., & Jaspers, F. G. (2000). *Marco analítico para el manejo integrado de recursos hídricos: lineamientos para la evaluación de marcos institucionales*.



Ambiente



Programa Nacional de
**MONITOREO DEL RECURSO
HÍDRICO**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Bogotá D.C., 2024