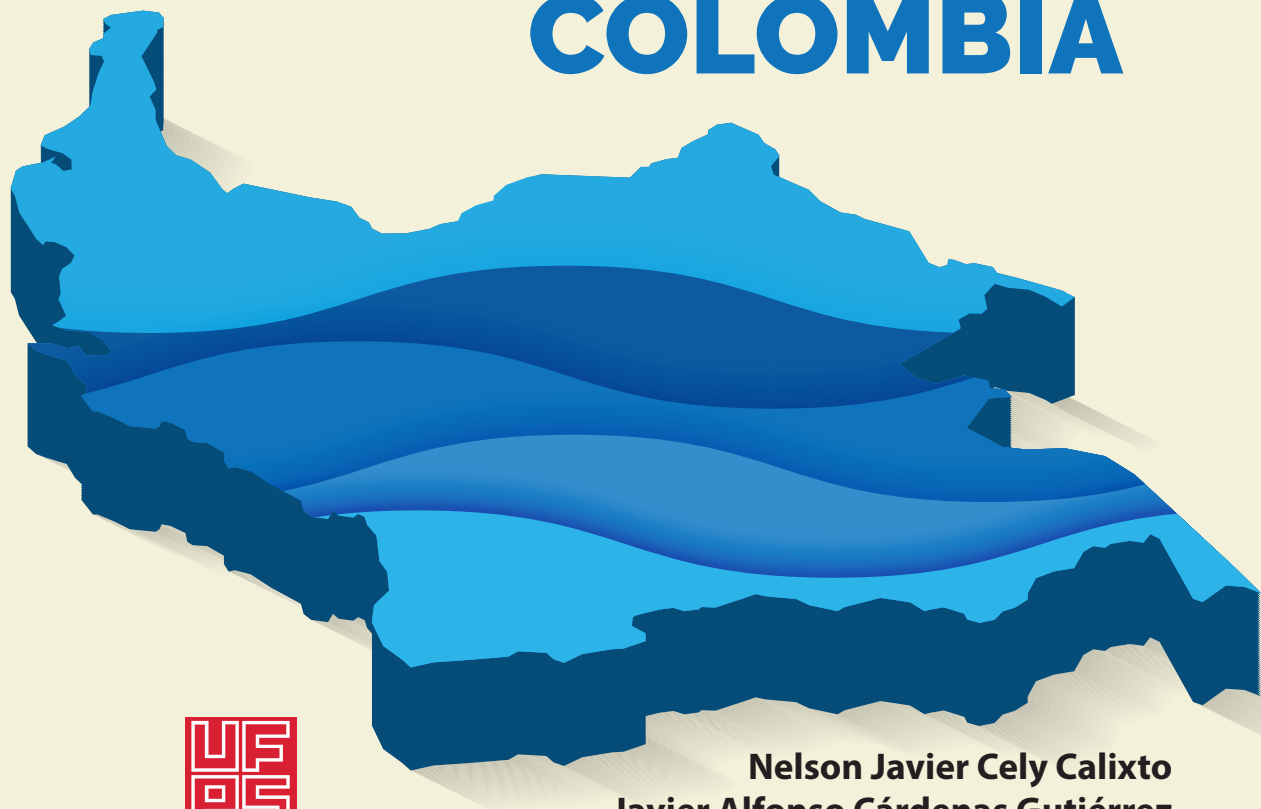




# GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN **COLOMBIA**



Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Vigilada Mineducación

**Nelson Javier Cely Calixto**  
**Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez**  
**Dorance Becerra Moreno**





**GESTIÓN SOSTENIBLE DE  
LOS RECURSOS HIDRÍCOS  
EN COLOMBIA**

**NELSON JAVIER CELY CALIXTO  
JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ  
DORANCE BECERRA MORENO**

Cely Calixto, Nelson Javier, autor

Gestión sostenible de los recursos hídricos en Colombia / Nelson Javier Cely Calixto, Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez, Dorance Becerra -- Primera edición -- San José de Cúcuta : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022

84 páginas. – (Ingeniería civil, ingeniería de recursos hídricos, ingeniería ambiental. Gestión de recursos hídricos, Contaminación del agua, ecohidrología, cambio climático)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye bibliografía

ISBN 978-958-503-457-0 -- 978-958-503-458-7 (e-book)

1. Gestión integrada de recursos hídricos - Colombia 2. Desarrollo de recursos hídricos 3. Desarrollo sostenible 4. Ecohidrología 5. Cambios climáticos I. Cárdenas Gutiérrez, Javier Alfonso, autor II. Becerra Moreno, Dorance, autor

CDD: 333.911509861 ed. 23

CO-BoBN - a1097983

---



**Área:** Ingeniería civil, Ingeniería de recursos hídricos, Ingeniería ambiental

**Subárea:** Gestión de recursos hídricos, Contaminación del agua, Ecohidrología, Cambio climático



Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Vigilada Mineducación

© Nelson Javier Cely Calixto  
© Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez  
© Dorance Becerra Moreno

© Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Avenida Gran Colombia  
No. 12E-96, Barrio Colsag  
San José de Cúcuta - Colombia  
Teléfono: 607 577 6655

► Ecoe Ediciones S.A.S.  
info@ecoeediciones.com  
www.ecoeediciones.com  
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02  
Bogotá, Colombia

**Primera edición:** Bogotá, agosto del 2022

**ISBN:** 978-958-503-457-0  
**e-ISBN:** 978-958-503-458-7

Directora editorial: Claudia Garay Castro  
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.  
Corrección de estilo: Julián Hernández  
Diagramación: Natalia Herrera  
Carátula: Wilson Marulanda  
Impresión: Carvajal Soluciones de  
Comunicación S.A.S.  
Carrera 69 #15-24

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia–Todos los derechos reservados*

*A Dios Padre Todopoderoso*  
*A la Universidad Francisco de Paula Santander*



# CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| <b>PRÓLOGO</b> .....  | XIII |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | 1    |
| <b>CAPÍTULO 1.</b>  |      |
| Análisis global de la gestión de recursos hídrico .....                       | 3    |
| América Latina y el Caribe .....  | 7    |
| África .....  | 9    |
| Norte América.....  | 12   |
| Europa .....  | 16   |
| Asia .....  | 18   |
| <b>CAPÍTULO 2.</b>  |      |
| Ecohidrología y la Sostenibilidad Ambiental .....                             | 21   |
| Hipótesis de la ecohidrología .....   | 22   |
| Principios de la ecohidrología.....   | 23   |
| Cuenca .....  | 26   |
| La ecohidrología como herramienta de gestión<br>de los recursos hídricos..... | 27   |
| Mejores prácticas en la gestión de recursos hídricos .....                    | 28   |
| La huella hídrica .....   | 29   |
| Análisis, comprensión y mantenimiento de<br>servicios ecosistemáticos .....   | 34   |
| Ecohidrología tropical.....   | 40   |



**CAPÍTULO 3.**

|  |    |
|--|----|
| El cambio climático y la gestión sostenible de recursos hídricos.....                                  | 43 |
| El desarrollo sostenible .....   | 45 |
| Riesgos principales que están asociados al cambio climático y el uso<br>de los recursos hídricos ..... | 50 |

**CAPÍTULO 4.**

|   |    |
|---|----|
| Análisis de la gestión de recursos hídricos<br>en Colombia..... | 53 |
| Acceso al agua potable .....                                    | 57 |
| Acceso al sistema de saneamiento básico .....                   | 58 |
| Aspectos medioambientales.....                                  | 62 |
| Caso Norte de Santander .....                                   | 66 |

**CAPÍTULO 5.**

|   |    |
|---|----|
| Políticas y gobernanzas<br>del agua .....     | 69 |
| Normativas internacionales y nacionales ..... | 70 |
| Aspectos sociales .....                       | 74 |
| Aspectos económicos.....                      | 75 |
| Aspectos culturales.....                      | 77 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b> | <b>79</b> |
|---------------------------|-----------|

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Agua potable .....  | 3  |
| Figura 2. Tierra seca y agrietada producto del calentamiento global.....  | 5  |
| Figura 3. Escasez de infraestructura y tratamiento de agua.....   | 5  |
| Figura 4. Principales factores de riesgo relacionados con el agua.....  | 7  |
| Figura 5. Acceso al agua de las zonas urbanas en América Latina, 2015..   | 8  |
| Figura 6. Acceso al agua de las zonas rurales en América Latina, 2015....   | 9  |
| Figura 7. Asentamientos informales .....  | 10 |
| Figura 8. Extracción de agua subterráneas para riego de cultivos .....  | 11 |
| Figura 9. Acceso al agua potable para el continente africano, 2015.....   | 12 |
| Figura 10. Gobernanza del agua .....  | 13 |
| Figura 11. Río San Lorenzo .....  | 15 |
| Figura 12. Acuífero Edwards.....  | 15 |
| Figura 13. Población con acceso al agua y saneamiento de Norteamérica<br>y Europa.....                                | 17 |
| Figura 14. Valoración del agua.....   | 18 |
| Figura 15. Población en Asia con acceso al agua potable<br>(sin tener en cuenta Australia y nueva Zelanda), 2015..... | 19 |
| Figura 16. Manglares y arrecifes .....  | 20 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 17. Primer principio: hidrológico. Cuantificación de análisis del ciclo hidrológico desde el punto de vista socioeconómico. Economía y dinámica espacial-temporal vs. diversas formas de impacto humano ..... | 23 |
| Figura 18. Segundo principio: ecológico. El análisis de distribución de varios tipos de biocenosis y su potencial para mejorar la resiliencia y la capacidad de absorción de los impactos humanos                    | 24 |
| Figura 19. Tercer principio: ecohidrológico. Uso de la biota para controlar los procesos .....   | 24 |
| Figura 20. Metodología para la investigación en hidrología.....  | 26 |
| Figura 21. Cuenca hidrológica .....  | 27 |
| Figura 22. Interrelación disciplinaria que conforma la ecohidrología .....   | 28 |
| Figura 23. Huella hídrica, azul, verde, gris y nacional per cápita.....  | 30 |
| Figura 24. Acciones exitosas para el ahorro del agua en un proceso de electrolisis y enjuague.....   | 33 |
| Figura 25. Clima tropical .....  | 41 |
| Figura 26. Efectos del cambio climático .....  | 43 |
| Figura 27. Desarrollo sostenible .....   | 46 |
| Figura 28. Zona tropical.....  | 48 |
| Figura 29. Sequia.....   | 51 |
| Figura 30. Partes de un acueducto.....   | 54 |
| Figura 31. Tratamiento de aguas residuales en Colombia.....  | 55 |
| Figura 32. Corporaciones autónomas regionales .....  | 56 |
| Figura 33. Agua potable .....  | 57 |
| Figura 34. Alcantarillado .....  | 59 |
| Figura 35. Fosa séptica .....  | 60 |
| Figura 36. Letrina.....  | 61 |
| Figura 37. Páramo de Sumapaz.....  | 62 |
| Figura 38. Vertientes hidrográficas de Colombia .....  | 64 |
| Figura 39. Calidad del agua .....  | 65 |
| Figura 40. Hidrografía Norte de Santander.....   | 67 |
| Figura 41. Visión general de los principios de gobernanza del agua .....   | 71 |
| Figura 42. Marco de gobernanza del agua.....   | 72 |
| Figura 43. Central hidroeléctrica.....   | 75 |
| Figura 44. Oferta hidroeléctrica en Colombia .....   | 76 |
| Figura 45. Cultura del agua .....  | 77 |

# ÍNDICE DE TABLAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Servicios ecosistémicos, beneficios que brindan a las poblaciones humanas y procesos ecosistémicos asociados a estos servicios ..... | 36 |
| Tabla 2. | Problemas de contaminación, sus efectos y variables asociadas con la calidad del agua.....   | 66 |





## PRÓLOGO

Este libro es el resultado de una investigación científica en materia de gestión de recursos hídricos; en este se identifican cómo se encuentran el mundo en nivel general, nuestro continente y nuestro país en lo que respecta a dicha materia, así como las diferentes dinámicas y políticas a nivel nacional e internacional.

El estudio se dirige principalmente a profesionales y estudiantes de Ingeniería Civil, Ingeniería de Saneamiento, Ingeniería Ambiental, entre otras disciplinas. Así también es un material complementario de las clases universitarias que potencializan la comprensión de los conocimientos expuestos.



# INTRODUCCIÓN

La correcta gestión de los recursos hídricos es uno de los mayores retos que se desarrollarán a lo largo del presente siglo, estos recursos pueden llegar a tener múltiples beneficios económicos, ambientales y sociales cuando se logra alcanzar un alto grado de aprovechamiento.

Para lograr este objetivo es necesaria la participación de otras disciplinas, además de la ingeniería, puesto que las técnicas actuales de análisis de sistemas han agregado nuevas herramientas de gestión del territorio, que permitirán establecer medidas de planificación viables que puedan solucionar los problemas de gestión de recursos hídricos en su globalidad.

De tal manera, se necesitan conocimientos desde las matemáticas y las ciencias naturales hasta las ciencias sociales y las ciencias aplicadas, Aunque esta tarea ha sido tradicionalmente de ingenieros civiles hidráulicos, los cuales han gestionado los recursos hídricos, el manejo de cuencas, así como diferentes administraciones locales o regionales.

Gracias a la formación adquirida por un ingeniero civil en materia de ingeniería hidráulica, se han podido desarrollar con éxito múltiples diseños y construcciones de obras hidráulicas que han permitido aprovechar y explotar el agua a lo largo del tiempo, mediante una continua evolución de estos medios.



Por lo tanto, uno de los principales retos para los ingenieros civiles es el diseño y gestión de recursos hídricos, que responden a una nueva realidad con múltiples objetivos y que obedece a un enfoque multidisciplinar. Donde ahora existen nuevas políticas de agua, enfatizadas no solo a su aprovechamiento sino, a los diferentes contextos ambientales, económicos y sociales, en la gestión integral de su cuenca.

## CAPÍTULO 1

# ANÁLISIS GLOBAL DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICO

El agua es fuente de vida, recurso fundamental para la supervivencia, y por lo tanto su posesión es indispensable para la satisfacción de las necesidades humanas; de igual forma, el agua potable así como los servicios de saneamiento son considerados derechos básicos que un ser humano debe presentar para asegurar una vida sana y sostenible.

**Figura 1. Agua potable**



Fuente: [www.freepik.es](http://www.freepik.es).

Según los informes establecidos por AQUASTAT, cada año se aumenta el uso del agua por la población en aproximadamente un 1 %, tanto en los países desarrollados como los que están en desarrollo, son estos últimos los cuales, a pesar de estar por debajo en cuanto a la utilización de estas fuentes como los desarrollados, presentan valores muy cercanos (Hídricos, 2020).

Este aumento se encuentra comprendido por factores como el crecimiento poblacional, el desarrollo socioeconómico y los patrones de consumo por la evolución. Una de las actividades humanas que más consumo de agua desarrollan a lo largo de su ciclo productivo es la agricultura, debido a que las extracciones anuales a nivel global representan un 69 % para la irrigación de cultivos, mientras que las industrias solo representan un 19 % de estas extracciones, y los hogares, un 12 %. Para el 2050 se espera que la demanda de agua siga en aumento, resultado de su mayor utilización por los sectores industriales y domésticos, además de las actividades de agricultura las cuales poseen mayor cantidad de utilización de estas fuentes, representando el 70 % de se usó (World Bank Group, 2021).

El aumento poblacional genera como consecuencia un mayor empleo de recursos hídricos, y evidencia una escasez de este recurso con mucha más cotidianidad, puesto que va en aumento el número de países que presentan agotamiento de agua, vinculando a más de 2000 millones de personas dentro de esta problemática, la cual ha generado la creación de conflictos entre usuarios y el impacto en su sostenibilidad. Hoy en día, al menos una vez al mes, aproximadamente 4000 millones de personas presentan la falta de esta fuente de sustentación, según investigación dada por Mekonnen & Hoekstra (2016).

Estos eventos desarrollan un término denominado *estrés hídrico físico*, el cual no se refiere a la falta económica de agua, sino a la inexistencia de infraestructuras que permitan, su transporte, recolección y tratamiento. De tal manera, el crecimiento poblacional y estrés hídrico son directamente proporcionales, puesto que una tiene un efecto directo sobre la otra.

Según una investigación de la ONU en el 2018, la cual considera la alta probabilidad de que los niveles de estrés hídrico físico aumenten en un futuro con la evolución de la población, los niveles de la contaminación por el cambio climático, son un problema generado por el exponencial crecimiento de la población, el cual es sumamente delicado, ya que este es capaz de provocar la alteración en los ciclos hidrológicos y, por lo tanto, la disponibilidad del agua.

**Figura 2. Tierra seca y agrietada producto del calentamiento global**

Fuente: [www.freepik.es](http://www.freepik.es).

De tal manera, es de suprema importancia que todos los países del mundo tengan como prioridad la creación de planes robustos y detallados sobre la gestión de sus recursos hídricos y de todos los servicios asociados, sobre todo en aquellos países donde predomina la pobreza.

El cambio climático no solo genera problemas en la ausencia del agua, sino también en su calidad, debido a que, cuando desaparecen los cuerpos de agua, aumentan la cantidad de contaminantes en el suelo y, por lo tanto, la aparición de microorganismos invasores, esto es un peligro para las personas debido a la aparición de enfermedades como el cólera y la esquistosomiasis, producto de la falta en el tratamiento de aguas antes de su liberación al medio ambiente.

**Figura 3. Escasez de infraestructura y tratamiento de agua**

Fuente: [www.freepik.es](http://www.freepik.es).

De tal manera, debe invertirse en el fortalecimiento institucional, en la divulgación de la información, y, sobre todo, en el desarrollo de la infraestructura necesaria, así como el establecimiento de marco legales y regulatorios, que sirvan como mecanismo de fijación de precios y sistemas de información para la correcta regulación de este recurso.

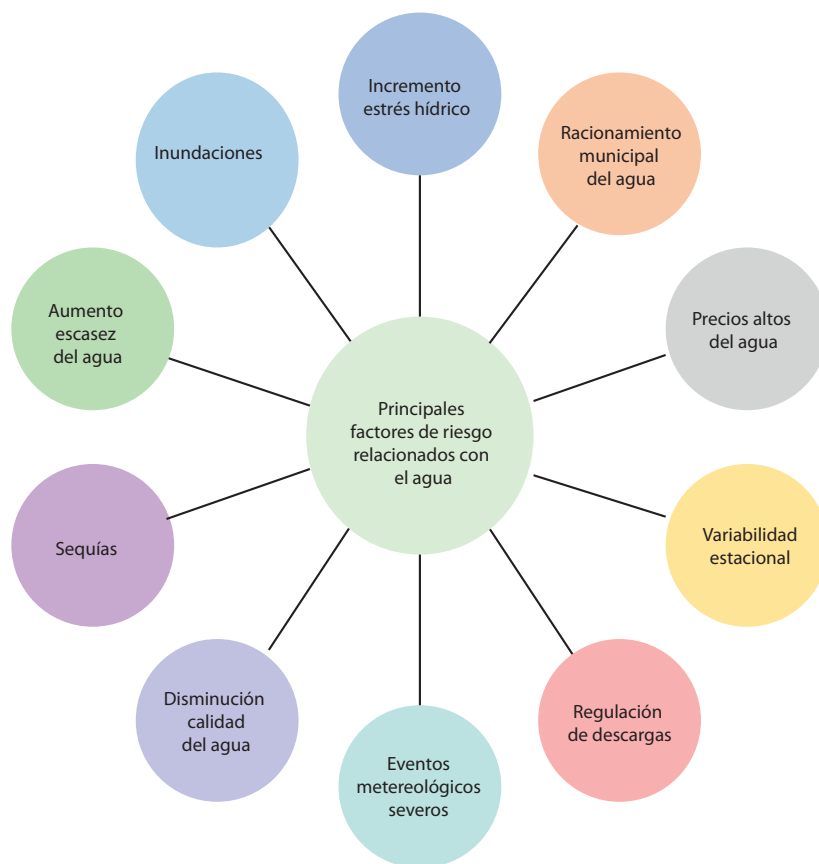
Así mismo, la implementación de nuevas tecnologías, la aplicación de las reglas del cuidado y preservación del medio ambiente, además de la búsqueda de nuevas estrategias tales como la recuperación de acuíferos, permitirán desarrollar de manera satisfactoria el fortalecimiento en la seguridad hídrica. Estas traerán como consecuencia la mejoría en el acceso a servicios de agua potable, en los hogares, las escuelas, los lugares de trabajo y hospitales. Puesto que, como se sabe, el agua es una necesidad humana y, por lo tanto, el mejoramiento de sus instalaciones tendrá un impacto positivo en la calidad de vida de las personas, direccionándolas hacia una vida saludable, digna e igualitaria.

Así mismo, esta mejoría posee una alta relación costo-beneficio ya que, con la creación de instalaciones, se mejora los sistemas de potabilización del agua y, por lo tanto, la disminución de enfermedades, evitando, de esta forma, la creación de infraestructuras que puedan llegar a ser mucho más costosas.

En estos países, uno de los principales problemas de los abastecimientos de agua es la parte económica: la pandemia de COVID-19 generó un alto impacto, ya que mantener el aumento del el número de infraestructura de abastecimientos de agua se ha visto en declive debido a la disminución de ingresos, lo que causa dificultades para el pago de facturas.

La historia es un conjunto de hechos y acontecimientos que a lo largo del tiempo se ha construido por una serie de conflictos y tensiones por los recursos naturales. El agua, a pesar de que nunca había sido un tema de conflicto, con el paso del tiempo, la evolución y el desarrollo que han producido los cambios climáticos y por consecuencia su sequía, se vuelve en el recurso más demandado de la historia, como se tratase de oro.

En la siguiente figura se pueden observar los diferentes factores de riesgos asociados con el agua.

**Figura 4. Principales factores de riesgo relacionados con el agua**

Fuente: elaboración propia.

## América Latina y el Caribe

La región de América Latina y el Caribe es un lugar que parece no tener problemas pues presenta el humedal más grande del mundo, con 200 mil kilómetros cuadrados, y posee el río Amazonas con la mayor descarga del mundo, por lo que la población LAC no debería tener problemas con las disposición y repartición del agua (Gerstle, 2019).

Sin embargo, a pesar de que representan un tercio de los recursos renovables en agua dulce mundial, estas fuentes se encuentran en mayor cantidad en zonas rurales y naturales de la Amazonía, en cuanto en las partes urbanas son zonas áridas o semidesérticas y están ubicadas en grandes altitudes, por lo que el acceso continuo de agua es un gran desafío.

De tal manera el estrés hídrico en la región ha provocado una gran serie de conflictos en sectores agrícolas, -la minería, el agua potable, el saneamiento, entre

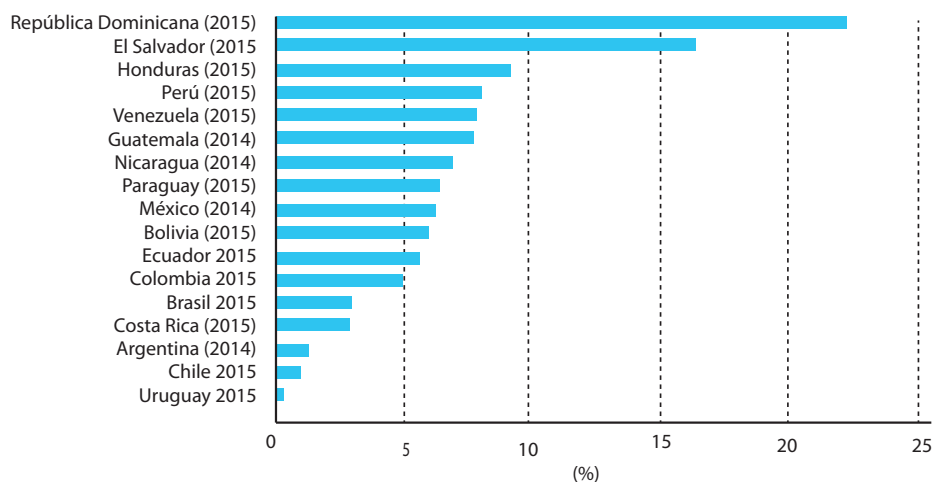
otros-, debido a los escasos recursos de agua, principalmente por la mala regulación y la falta de incentivo o inversión.

Es tal la falta de interés que se le atribuye a estos recursos hídricos que solo el 40 % son tratados de forma segura en la región. Además los costos en su utilización no son aplicados en los estados económicos de las zonas agrícolas o las plantas hidroeléctricas, que son las áreas donde se presenta un mayor empleo de estas fuentes de agua. Esto representa de esta manera la falta de estrategia para su sostenibilidad.

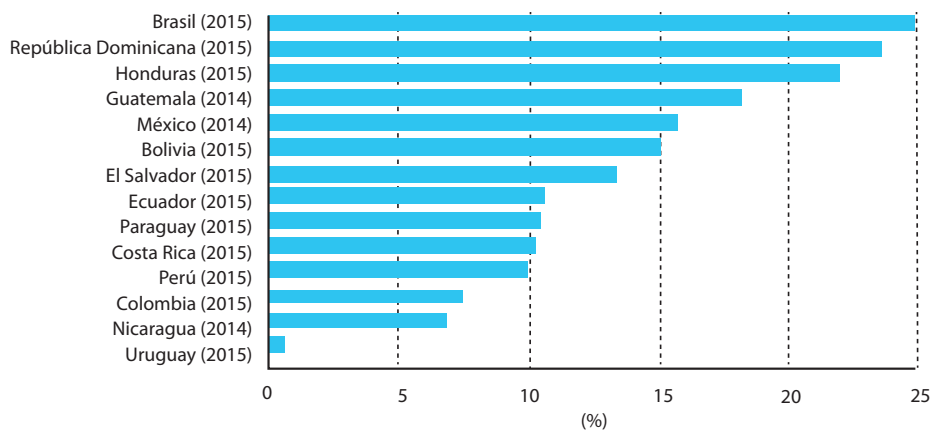
Gran parte de los países que conforman esta región no presentan una asignación de los recursos suficientes que cumpla la adecuada ejecución de la ley, en caso de que ocurra una sobreexplotación u otro factor, como la contaminación que se presenta muy frecuentemente.

A pesar de que la distribución desigual en ingresos ha mejorado, todavía existe un 41 % de la población que representa la pobreza y la pobreza extrema en la región, según una investigación realizada por CEPAL en el año 2018. Además este es el porcentaje de los habitantes que no poseen acceso a servicios de saneamiento (UNESCO, 2019).

**Figura 5. Acceso al agua de las zonas urbanas en América Latina, 2015**



Fuente: UNESCO (2019).

**Figura 6. Acceso al agua de las zonas rurales en América Latina, 2015**

Fuente: UNESCO (2019).

Por lo tanto, es esencial la implementación de una regulación y seguimiento en la utilización de los recursos, no tanto para garantizar el valor del agua o por cumplir una ley, sino por asegurar el recurso y prevenir su sobreexplotación y contaminación, especialmente por las variaciones climáticas.

La contaminación es un problema muy grave al que se le debe prestar amplia atención, puesto que, a medida que aumenta su proporción, la calidad de los recursos hídricos del país y los ecosistemas va disminuyendo. Es así como en muchas regiones la contaminación que se da en el agua es tanta que solo su contacto directo ya es peligroso.

Las cargas sanitarias son las que producen principalmente la contaminación en el agua y, a medida que estas aumentan, se desarrollan ciclos viciosos de pobreza, desigualdad y movilidad forzada. Un ejemplo es Colombia, donde la tasa de desplazamiento interno es una de las más altas a nivel mundial, causada en parte por esta contaminación hídrica. Generando así graves problemas para el país, debido a la afectación en los planes de desarrollo territorial.

Se debe prestar más atención a los temas de la regulación y tratamiento en las aguas, pues los cambios climáticos no van a disminuir y menos el crecimiento demográfico.

## África

Se sabe que la disponibilidad de los recursos hídricos no es la misma en todos los continentes, además de que el desarrollo que existe en cada uno es muy desigual, ya que algunos territorios están más desarrollados que otros. De tal manera, se prevén grandes conflictos debido a la insuficiencia de agua, llegando a considerarse hasta la aparición de guerras.



Se han identificado seis grandes desafíos que se relacionan con el agua para el siglo XXI por el Consejo Mundial del Agua, debido al mal manejo en su distribución global, la escasez, el deterioro, la falta de puntos de acceso, la toma de conciencia, la fragmentación de su manejo y la falta de su asignación.

El principal problema de África es la falta de marco político, conocimiento e insuficiencia institucional. Esto ha desarrollado un enfoque fragmentado en cuanto al manejo de los recursos hídricos, el cual también que se da en la mayoría de las regiones de los continentes.

La mayoría de la población vive en asentamientos informales, y alrededor de 2 mil millones de la población que presentan falta de saneamiento y 4 mil millones no se benefician de la recolección y tratamiento de contaminación. El aumento de la población que se prevé desde el 1990 hasta 2050, en un cambio, es de 150 hasta 700 millones, un aumento del 52 %.

El abastecimiento de agua potable y saneamientos de las áreas urbanas en África se fundamentan principalmente en operadores privados independientes, como compañías de camión, revendedores capadores de agua, operadores de camiones manuales, entre otros.

**Figura 7. Asentamientos informales**



Fuente: ANFNEWS (2021).

Por lo tanto, la escasez del agua en África representa un gran desafío para su desarrollo, además de otros factores como el almacenamiento, la falta de infraestructuras y la mejora de saneamientos, que son puntos principales que demuestran la continuidad de la pobreza.

**Figura 8. Extracción de agua subterráneas para riego de cultivos**

Fuente: Calmatters (2021).

Por parte de la agricultura, el riego depende en gran medida del agua subterránea, y el agotamiento en los acuíferos ha sido un problema también grave. Según estudio por National Aeronautics and Space Administration of the United States (NASA) (2015), los ochos acuíferos que conforman el continente africano, en un periodo de tiempo de 2003-2013, no han presentado ninguna mejoría o muy poca ha sido la recarga de estas fuentes.

Otras de las amenazas graves que perjudica la disponibilidad del agua son los cambios climáticos, debido a su afectación en el equilibrio de los ecosistemas y por lo tanto en la actividad agrícola.

El servicio básico de saneamiento en África era solo del 28 % para el 2015, y para aquellas personas que presentaban un servicio básico, su acceso era limitado y compartido entre dos o más hogares. Estas instalaciones no mejoradas estaban conformadas por pozo sin losa, letrinas colgantes, o algunos también practicaban la defecación al aire libre.

En 34 de los 38 países africanos de los cuales se dispone de datos, menos del 50 % de la población tenía instalaciones básicas, y de esos habitantes que poseían instalaciones básicas, sólo tres de cinco residían en áreas urbanas, según estudio por la OMS/UNICEF en el año 2017.

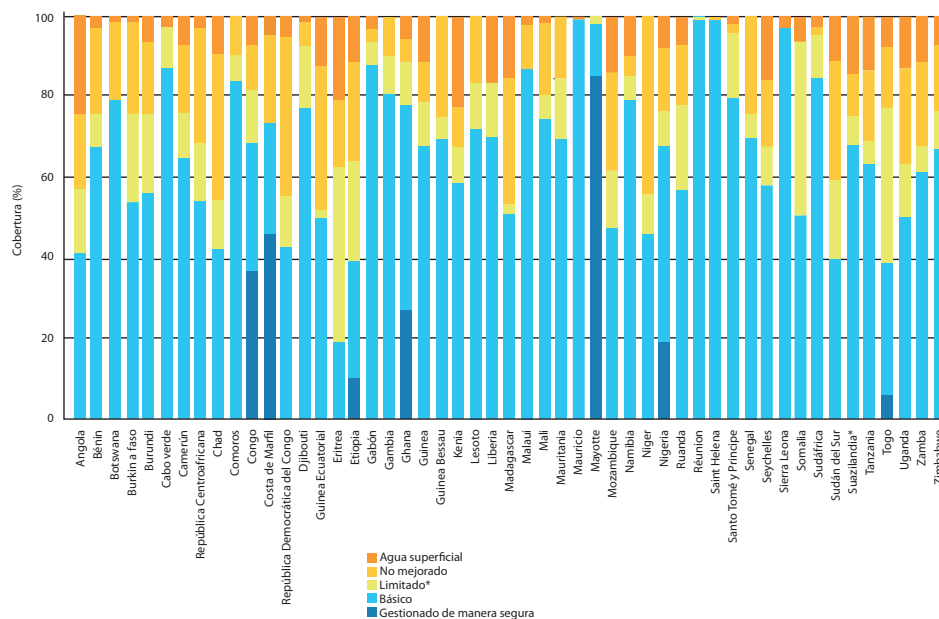
Además, se espera un impacto en la población, puesto que se prevé un crecimiento de mil millones de habitantes para el año 2050, lo que generará aumento del estrés hídrico, como efecto en el agua, debido al cambio climático. Esto traerá enfermedades por su contaminación, asimismo como las generadas debido a la desnutrición.

Uno de los argumentos que atrajo el interés ante la visión africana fue el establecido en el 2015 por Africa Union Commission: “Con el fin de mejorar la gestión equitativa y sostenible del agua para el beneficio de todos; todo el mundo debe participar en el diseño de nuevos métodos de gestión de los recursos hídricos en África”.

Es una iniciativa que se dio como respuesta ante las creencias de que los problemas que viven gran parte de los países son por los malos métodos establecidos en el pasado. Por lo tanto, esta visión tiene el objetivo de poder cambiar esos problemas y poder afianzar la disponibilidad del agua en el futuro.

Es por lo tanto importante poder aplicar métodos eficaces que contrasten estos problemas y afiancen de esta manera la calidad del agua y por lo tanto su sostenibilidad para las generaciones futuras.

**Figura 9. Acceso al agua potable para el continente africano, 2015**



Fuente: UNESCO (2019).

## Norte América

El agua, al ser fuente vital de vida y fundamental para la subsistencia, además de la formación de ciudades desde tiempo remotos, se ha vuelto con el paso de los años en una causa de tensión y conflictos dentro de los países como de los que se encuentran en frontera, debido a su disminución, además del aumento en su demanda para las diferentes actividades que priorizan de su uso, como las agrícolas, industrial y doméstico.

**Figura 10. Gobernanza del agua**

Fuente: El Ágora (2022).

De tal forma, es de suma importancia la aplicación de métodos para su manejo de manera sostenible, pues los mecanismos de administración presentan un paso importante que puede definir el destino de estos recursos que son cada vez más codiciados.

El agua subterránea es la principal fuente de suministro de agua que se utiliza para satisfacer las necesidades humanas, y sus niveles de descenso se han convertido en unas de las primordiales prioridades para Estados Unidos según investigación por Megdal en el año 2015 y Petersen-Perlman en el año 2018.

La comercialización del agua para Estados Unidos se ha visto como una forma de poder proporcionar intensivos que inviertan en la conservación del agua, con el objetivo de poder conseguir un beneficio en cuanto al agua que no es utilizada o la transferida a otros usuarios.

Pero esta compartición de agua a nivel internacional afecta de manera directa a aquellos países que hacen parte de una misma fuente hidrográfica, debido a que se centran en las prioridades de desarrollo, como una competencia que el Estado pretende ejecutar en superioridad a sus vecinos, convirtiéndose el agua en un objeto de soberanía nacional.

Así, en la frontera de Estados Unidos/México, los recursos hídricos son escasos por lo que las peleas para su obtención no solamente en los Estados, sino que también entre los países se intensifican. Esta región se abastece de ríos que yacen a muchos kilómetros de donde desembocan y el crecimiento demográfico, como su uso para la creación de bienes y servicios, así como en el desarrollo de la agricultura, aumenta las tensiones.

Además, la sobreexplotación de los recursos hídricos afecta tanto los derechos de la utilización del agua como a los ecosistemas. Ante esto, una de las soluciones propuestas para la compartición de recursos se basó en mercados de agua, los cuales no fueron lo suficientemente beneficios para combatir la contaminación de aguas ni para su manejo sostenible.

El aumento de la demanda del agua afecta su disponibilidad, además de los contaminantes, los cuales resultan muy difíciles de contrarrestar, principalmente aquellos que provienen de las industrias, los cuales van disminuyendo la calidad del agua.

Por lo tanto, en resumen, los problemas que se dan en la frontera no se limitan a la escasez del agua por su demanda, sino también por la cantidad de contaminantes que se introducen en los cuerpos de agua, especialmente por las industrias.

Los ecosistemas que son dependientes de estas zonas se vuelven cada vez más vulnerables, y las especies acuáticas y la fauna se ven afectadas debido a su máxima utilización, tanto así que se ha presenciado que menos del 5 % de la vegetación y los ecosistemas perdura, debido a la contaminación y la disminución cada vez de los humedales, estos datos fueron tomados de la investigación realizada por Chávez en el año 2005.

La calidad del agua se ha ido empeorando, debido a que los contaminantes se presentan cuando hay menor volumen de agua, agravación que por lo cambios climáticos, y las sequías producidas por estos.

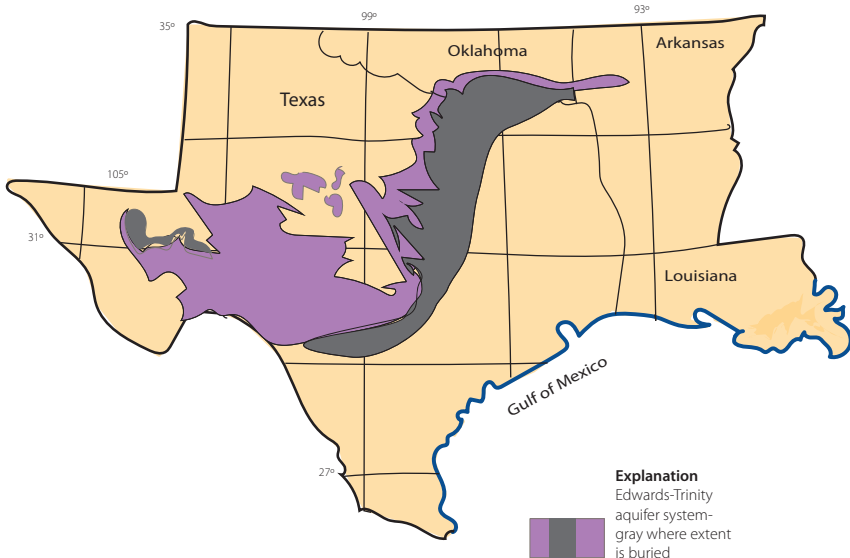
Ante esta circunstancia tanto el gobierno de México como el de Estados Unidos han intentado aplicar marcos necesarios para resolver estos problemas, sin embargo, la falta de control con respecto a la introducción de desechos en las aguas, ha impedido su aplicación, además de la falta de una infraestructura medioambiental que permita el atacar eficazmente estas fuentes de contaminación.

Estados Unidos y Canadá, comparten una enorme cuenca, grandes lagos y el río San Lorenzo, río que presenta el 18 % del agua dulce en el mundo, por lo tanto, debido a la gran cantidad de agua, una solución para combatir las zonas desérticas es su exportación, sin embargo, los costos y los efectos consecutivos de su implementación han producido que estos proyectos no sean considerados posibles (UNESCO, 2019).

**Figura 11. Río San Lorenzo**

Fuente: Esta es la historia (2019).

En California los agricultores reciben un beneficio monetario por las recargas subterráneas en las estaciones como otoño donde la escasez del agua es más evidente. Otras de las experiencias de los Estados Unidos es en cuanto a los fondos que se tiene para el agua, los cuales han permitido poder proteger los espacios verdes y a la vez mejorar la calidad del agua que se reutiliza, como es el caso del acuífero de Edwards, Texas.

**Figura 12. Acuífero Edwards**

Fuente: USGS, s. f.

A pesar de esto, todavía se ven contaminantes en las aguas subterráneas que afectan su calidad. En investigaciones recientes, como la realizada por OCDE, en el año 2019, se informa que se ha podido encontrar en las aguas nuevas sustancias, como los son los productos farmacéuticos, los micro plásticos y las nanopartículas. Los cuales pueden presentar amenazas para las masas de aguas en ciertas décadas y con ciertas condiciones.

La calidad como la cantidad de agua son primordiales, por lo tanto, para que su seguimiento sea rentable, es importante establecer prioridades que creen un equilibrio entre su control y mantenimiento.

## Europa

A nivel general, los inconvenientes respecto a la disponibilidad del agua ocurren cuando la demanda del recurso es mayor al que se posee. Generalmente estos problemas se presentan en las zonas que hay mayor cantidad de población y menor cantidad de zonas de precipitación. Además de la sobreexplotación del recurso, lo que ha provocado la desecación de las zonas naturales en Europa Occidental y Meridional.

El parlamento europeo establece que el agua no es un producto comercial sino un bien público, mensaje que encaja con lo establecido por las Naciones Unidas, de que el agua es un derecho para todo el mundo.

Sin embargo, el crecimiento de la población y, por lo tanto, el aumento imparable de la demanda y los cambios climáticos han generado que el agua sea sometida a fuertes presiones y conflictos por la sociedad.

Aunque Europa cuente con una gran cantidad de ríos y pareciera que no presentara problemas en cuanto a la disponibilidad del agua, ocurre todo lo contrario, pues, al igual que en otros continentes, presenta problemas de escasez, en lo que se puede señalar a más de cien millones de los habitantes.

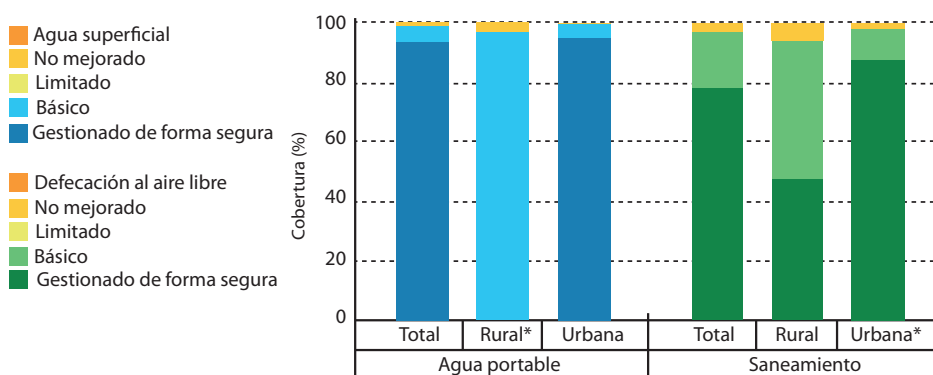
El cambio climático es el principal factor cuando a la escasez del agua y la tensión hídrica se refiere, lo que ha generado un mayor riesgo de sequía, debido a que las fuentes de agua que se establecen para el consumo humano se encuentran vulnerables por la sobreexplotación y la contaminación.

En varios países de Europa el agua potable para el consumo humano procede de las aguas subterráneas, lo que hace una necesidad importante su protección y control de calidad dada la cantidad de riesgos que esto puede traer a la salud humana.

La mayoría de estos contaminantes son introducidos por actividades agrícolas, productos químicos industriales y sustancias producidas por la minería, siendo el nitrato el elemento químico contaminante más presente en estas aguas.

Aunque la extracción y el consumo del agua es actualmente sostenible, existen lugares como en el sur de Europa donde se presentan tendencias insostenibles, por lo tanto, es importante su regulación para evitar la escasez estacional. Además de la afectación de los recursos hídricos por estos cambios climáticos y por lo tanto en su demanda.

**Figura 13. Población con acceso al agua y saneamiento de Norteamérica y Europa**



Fuente: UNESCO (2019).

También según proyecciones se prevé aumento de las precipitaciones en el norte de Europa y su disminución en el sur. Asimismo, como el incremento de las temperaturas que generaran sequías meteorológicas y eventos de precipitación intensa, en la mayor parte de Europa.

En Europa es obligado por la directiva del marco la utilización de los precios de servicios relacionados con el agua como una herramienta para su conservación, pues a partir de esto se podrá tener un control debido a que las personas con la elevación de los costos, empezar a presentar mayor conciencia sobre el cuidado del agua.

Es de tal manera que también se debe la introducción de otras medidas que disminuyan la utilización del recurso, como por ejemplo en la agricultura empezar el empleo de cultivos que no requieran grandes cantidades de agua. Si valorar el agua ha sido un reto para una sola jurisdicción, cuando son zonas fronterizas es un desafío. Como en Europa los marcos jurídicos e institucionales no presentan una metodología explícita en la que se exponga cómo cuidar cuantitativamente el agua, en cuanto a las zonas fronterizas, la forma de realizar esta cuantificación es a partir de la gestión en las inundaciones, regulación de desastres, los servicios ecosistémicos y los sistemas de alerta temprana.



**Figura 14. Valoración del agua**

Fuente: Ekos (2021).

Aunque los países que se encuentran mejor económicamente en las cuencas transfronterizas pueden dar asistencia técnica a los que no se encuentran en las mejores condiciones económicas, desde el punto de vista económico, la gestión del agua es complicada.

Por lo tanto, es primordial encontrar un punto de inicio que permita realizar una coordinación adecuada en cuanto a la cuantificación del agua y su cuidado, pero, en algunos casos, la causa de no poder aplicar estos métodos es el cambio climático (UNESCO, 2019).

## Asia

Poder lograr el acceso al agua y zonas de servicio adecuado de saneamiento para toda la población, según lo previsto para el objetivo de desarrollo sostenible de la agenda 2030, ha sido un gran desafío para Asia y el Pacífico.

Debido a la baja disposición del agua y la extracción inadecuada de este recurso hídrico, en el año 2016, 29 de los 49 países que conforman la región, se encontraban en un panorama de inseguridad en agua, lo que es un problema ya que de los países que presentan la mayor extracción de agua a nivel global, siete se encuentran en Asia y el Pacífico, según investigación realizada por ADB.

En algunas áreas, el aumento de riego en la agricultura es otra de las causas que han provocado el crecimiento en cuanto al estrés hídrico, principalmente en la

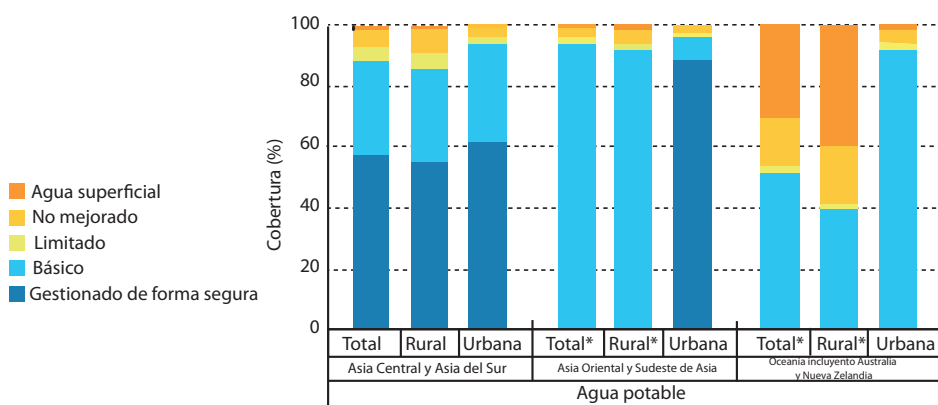
llanura del norte de China y noroeste de India, debido a la falta de sistemas de suministro e infraestructura de almacenamiento, lo que produce la liberación de aguas no tratadas a la superficie y en consecuencia la elevación de a los niveles de contaminación.

Aunque se han presentado progresos en términos de acceso de agua, durante el año 2015 uno de cada 10 de los residentes rurales y el 30 % de los habitantes que viven en zonas desérticas no tuvieron acceso a ella, del mismo modo 1500 millones presentaron falta de acceso a servicios de saneamiento, según estudios por OCDE y la CEPAP.

Además de las diferencias subregionales, en las zonas urbanas de Asia Oriental y el sur sureste asiático cuanto con mejores accesos de saneamiento en comparación con el Asia Central y del sur, según estudio expuesto por la OMS/UNICEF.

Los frecuentes desastres naturales en Asia y el Pacífico es una de las desventajas más grandes que presenta la región para su desarrollo en cuanto a la mejora de sostenibilidad del agua. Pues debido a los continuos desastres la provisión de servicios de agua y saneamiento se ven afectadas por la falta de infraestructuras que fueron estropeadas, al igual de la contaminación generada por estos desastres.

**Figura 15. Población en Asia con acceso al agua potable (sin tener en cuenta Australia y nueva Zelanda), 2015**



Fuente: UNESCO (2019).

Debido a esto, las personas han tenido que desplazarse a otros lugares, por lo que es un desafío el proveer los recursos necesarios de agua y saneamiento a estas personas desplazadas. Además de su afectación al país y las personas de bajos recursos, por causa de la falta económica para poder mitigar estos desastres.

Por lo tanto, aquellos que no son pobres, pero no reciben un sueldo alto, podrían llegar a volverse pobre por la presencia de estos desastres, según investigación realizada en el año 2018 por CESPAP.

La magnitud de estos desplazamientos es de 4,4 millones de personas, siendo 1,2 millones provenientes de la república china e india, y en 2017 unos 2,5 millones provenientes de la región de filipinas, según reporte dado por la IDCMM en el año 2018.

Por lo tanto, son de vital importancia la mejora de reducción ante estos desastres y el aumento de inversiones para su recuperación, con el objetivo de poder afianzar su sostenibilidad para las generaciones futuras.

Además del apoyo que CESPAP ha otorgado para la disminución de desastres, ofrece otra visión para esta reducción de desastres, la cual se basa en su mitigación por medio de la naturaleza. Este proyecto se llama Eco-DRR, y se centra particularmente en islas, asentamientos costeros y ciudades.

**Figura 16. Manglares y arrecifes**



Fuente: Lourdes Zimmermann (s. f).

En las zonas costeras los manglares y arrecifes, además de brindar beneficios como evitar las inundaciones por agua salada y su calidad, cumplen como una barrera protectora antes los tsunamis y tormentas. Por lo tanto que este proyecto de Eco-DRR ofrece una visión más destacada para el cumplimiento del objetivo en cuanto a la sostenibilidad del agua para las generaciones futuras.

Esto debido a que propone un enfoque de costo-beneficio, pues invertir en 12.000 hectáreas de manglares es más barato y a la vez es más beneficioso para la protección de las fuentes hídricas en vez de la construcción de una gran cantidad de infraestructuras, las cuales gastan más dinero y a la vez son más peligrosas, por los desastres que esta produce por su destrucción, según investigación realizada por Tallis, en el año 2008 (UNESCO, 2019).

## CAPÍTULO 2

# ECOHIDROLOGÍA Y LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

La palabra ecohidrología se hizo viral a principios de la década de los 90 y fue inmediatamente adoptada en varios campos de la biología, desde la fisiología de las plantas hasta la geoquímica acuosa. Sin embargo, este término ha tenido un uso extenso, por lo cual no se le ha dado un significado concreto. La idea de la ecohidrología fue expuesta en el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO basándose en las deducciones de la Conferencia Internacional de Agua y Medioambiente de Dublín en 1992. Allí se realizó un análisis de los resultados en torno a las gestiones del agua existentes y se concluyó que, para obtener un desarrollo sostenible de los recursos hídricos, se deben plantear soluciones novedosas, lo cual lleva a la necesidad de incluir conceptos novedosos (UNESCO, 1992).

La ecohidrología nos muestra una nueva perspectiva en el campo de las ciencias ambientales en el que se fomenta la unión de la hidrología y la ecología encaminándolas a la gestión sostenible de los recursos hídricos. Tiene su fundamento en que la gestión sostenible está sujeta a la posibilidad de conservar un desarrollo del paso del agua y flujos energéticos a nivel de las cuencas por medio de un orden de procesos biogeoquímicos, hidrológicos y biológicos como herramienta de gestión (Xavier *et al.*, 2019).

El desarrollo de la ecohidrología nos muestra la necesidad de poner en marcha prácticas innovadoras y competentes relacionadas con el ámbito económico para aumentar la calidad hídrica con respecto a la tensión que tienen los recursos de agua dulce.

Para Zalewski *et al.* (1997), la ecohidrología confiere un concepto objetivo cercano a la gestión y reparación de una gestión adecuada de los recursos hídricos para ofrecer herramientas para gestionar la degradación ecológica del agua y su desarrollo en la superficie.

En cambio, para de Beauregard *et al.* (2002), la ecohidrología es un nuevo modelo que nos muestra la unión de los términos hidrología y ecología. Esta definición va directamente hacia los ingenieros civiles e hidrólogos. Esta fuente también manifiesta que la ecohidrología es una forma de expandirse hacia la onda verde de implementar estrategias y respuestas al panorama ambiental, de la mano de otros científicos, en especial los ecólogos.

## Hipótesis de la ecohidrología

Existen once hipótesis de trabajo para la ecohidrología según Zalewski *et al.* (1997), las cuales son:

1. Para tener un panorama completo y una buena comprensión de la hidrología y la distribución de la fauna y flora en los canales fluviales, su historia debe ser estudiada, analizada e interpretada.
2. Generar un progreso en los corredores fluviales en torno a la suficiencia de resistencia, moderación y recuperación.
3. El nivel de vulnerabilidad que contenga una cuenca hídrica varía dependiendo de un modelo estacional en el proceso hidrológico, el cual puede ser alterado por acción del ser humano.
4. El nivel nutricional y de sedimentación de una cuenca hídrica varía según las perturbaciones hechas por el hombre, lo cual se suma a las particularidades ecológicas e hidrológicas de la fuente hídrica.
5. La magnitud de intensidad y la permanencia de la creciente varían según las particularidades biológicas del canal fluvial y el régimen hidrológico.
6. La cantidad de nutrientes de un río varía según la calidad del agua subterránea y la distribución biótica del valle del río.
7. La circulación y modificación de los contaminantes depende del régimen hidráulico-hidrológico y las particularidades ecológicas que tenga el canal fluvial.
8. El aplicar acercamientos ecohidrológicos apoyados en sistemas de información geográfica (SIG) a un subsistema de canales hidrológicos duraderos de ecotonos genera que la investigación hidrológica sea satisfactoria a nivel de microescalas añadidas a métodos con una alta escala de abstracción. La anexión de esta información con definiciones hidrológicas conduce a un análisis más minucioso del régimen hidrológico de las cuencas.

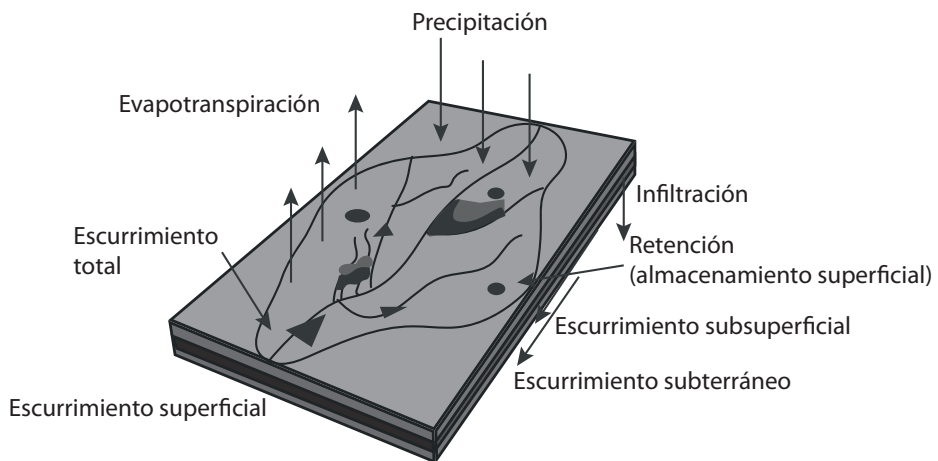
9. Un análisis de los procesos hidrológicos y un avance en la capacidad de predecir hacen parte del apoyo necesario para conducir de manera eficiente los precios de los sistemas hídricos.
10. Disminución del paso de nutrientes a partir de la cuenca hasta un cuerpo hídrico aguas abajo mediante la mejora de la distribución de la zona de ecotonos y humedales de llanuras de inundación.
11. Los indicadores de planeación de manera predictiva y la gestión sostenible de los recursos hídricos se deben apoyar en información local y en investigaciones en torno a gestiones hidrológicas de alto impacto.

## Principios de la ecohidrología

Para Zalewski *et al.* (2002), el concepto de ecohidrología se desarrollara de manera correcta, si se establecen tres principios fundamentales:

1. Principio hidrológico: en este principio se mantienen y se repone el desarrollo evolutivo de la circulación de agua, nutrientes y energía a nivel de la cuenca.

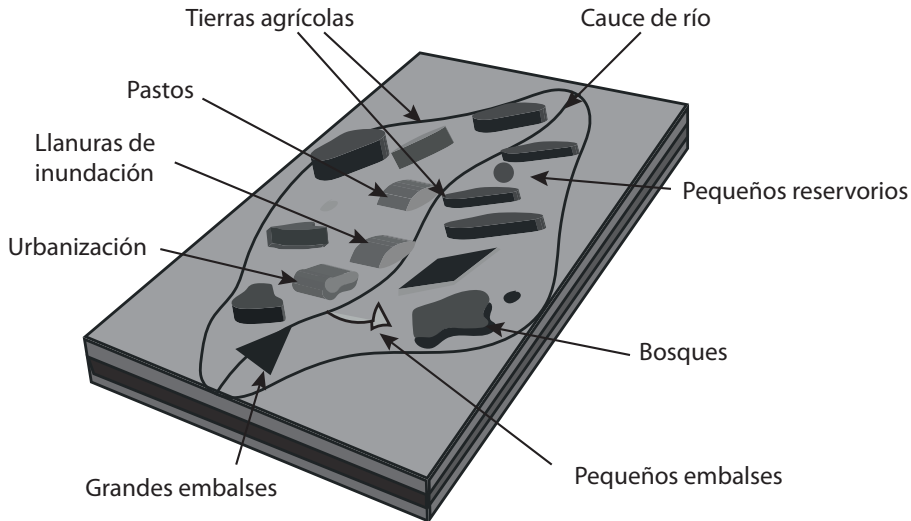
**Figura 17. Primer principio: hidrológico. Cuantificación de análisis del ciclo hidrológico desde el punto de vista socioeconómico.  
Economía y dinámica espacial-temporal vs. diversas formas de impacto humano**



Fuente: Martínez Valdés y Villalejo García (2019); UNESCO (2015).

2. Principio ecológico: se enfoca en la unión de los procesos que ocurren en las cuencas, los cuales tienen como propósito aumentar el volumen de transporte de la cuenca y mejorar el nivel de suficiencia de la cuenca.

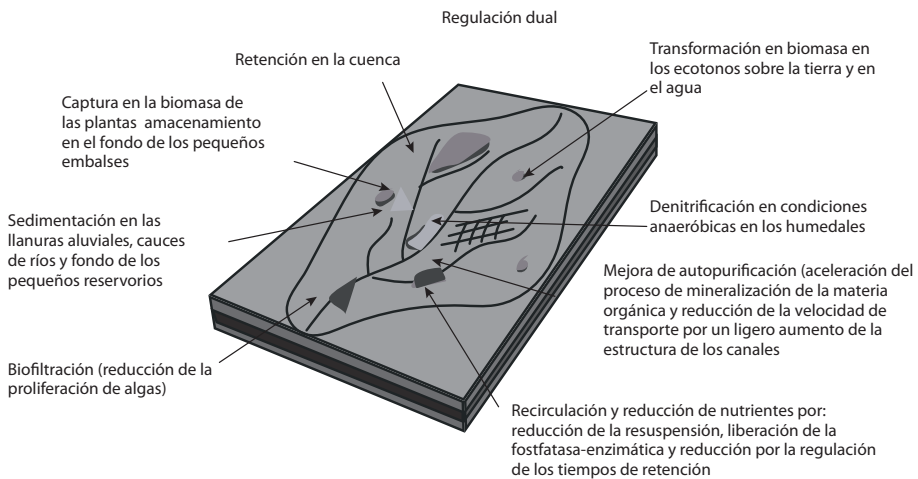
**Figura 18. Segundo principio: ecológico. El análisis de distribución de varios tipos de biocenosis y su potencial para mejorar la resiliencia y la capacidad de absorción de los impactos humanos**



Fuente: Martínez Valdés y Villalejo García (2019).

3. Principio ecotecnológico: utiliza las particularidades de los ecosistemas como medio de gestión del agua mediante la ingeniería ecológica.

**Figura 19. Tercer principio: ecohidrológico. Uso de la biota para controlar los procesos**



Fuente: Martínez Valdés y Villalejo García (2019).

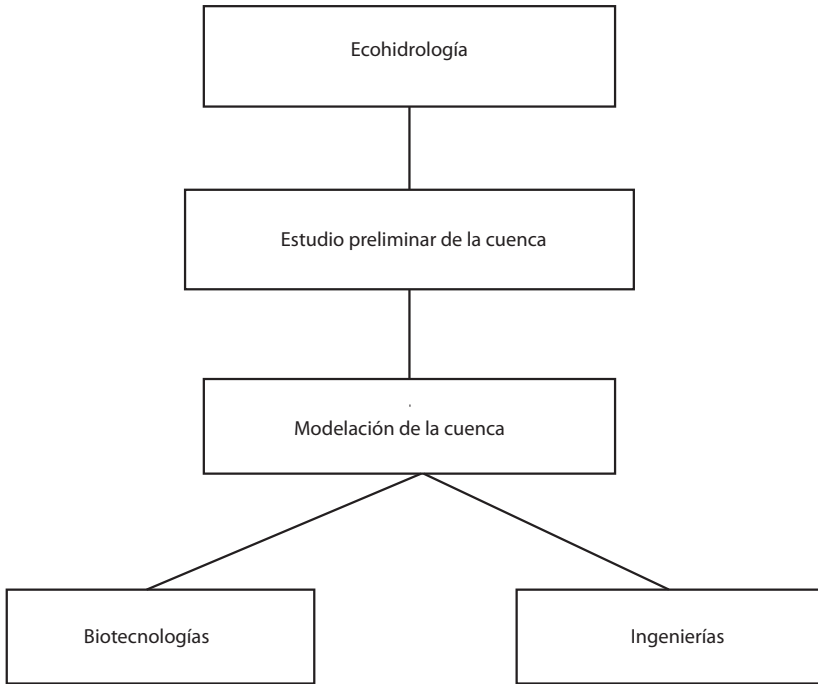
### ***Bases para el estudio de la ecohidrología***

La ecohidrología ha permitido agregar una nueva dimensión en lo que respecta a la gestión del recurso hídrico, a saber, determinar una sinergia dentro del pensamiento convencional sobre la gestión del agua, la cual se complementa con otras áreas de la ciencia. Por lo tanto, la ecohidrología se convierte en una *reflexión multidisciplinar* que reúne todas las áreas del conocimiento enfocándose en materia de su temática y el impacto que esta tiene en la sociedad general (Quintero-Espinosa y Mejía Zermeño, 2006).

Para de Beauregard *et al.* (2002), la finalidad de la ecohidrología nos indica cual es el marco metodológico por seguir, apoyado en tres fases:

1. El análisis previo de una cuenca parte de un conocimiento ecológico profundo con respecto al medio ambiente, tales como el clima, vegetación, ocupación del ser humano, entre otros.
2. La toma de medidas para evitar la contaminación, pieza clave para un desarrollo sostenible óptimo. Esto conlleva a que el establecimiento de un patrón de cuenca con la cual se pretende establecer el origen y el flujo de las partículas contaminantes. Para cumplir con este patrón, se pretende realizar, para la cuenca, una gestión sostenible en torno al uso del suelo.
3. Se debe implementar el uso de la tecnología para fortalecer los ecosistemas teniendo en cuenta estos espacios a largo plazo, específicamente mediante el modelo elegido anteriormente.



**Figura 20. Metodología para la investigación en hidrología**

Fuente: Quintero-Espinosa y Mejía Zermeño (2006).

## Cuenca

Bajo el enfoque de la ecohidrología, las cuencas se referencian como un macrosistema ecológico, que implanta relaciones mutuas de tipo hidrológico, social y ecológico, Su principal órgano está determinado por el estudio de los hidrosistemas, enlazado con el clima, la hidro-química, hidrobiología, física, geología y demás desarrollos biológicos que tienen cabida en ella.

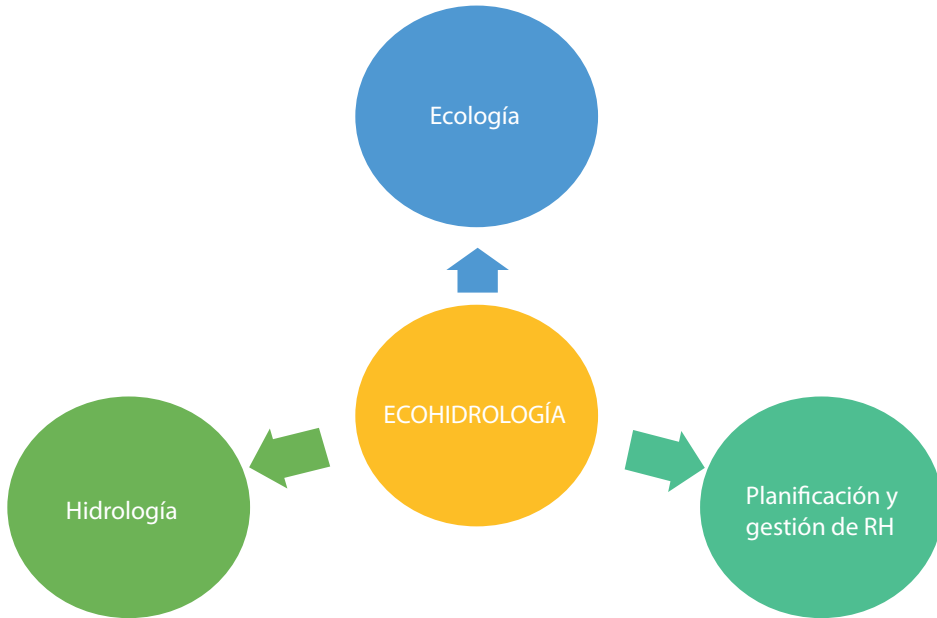
Teniendo en cuenta este supuesto, el reto de aplicabilidad del ámbito ecohidrológico necesita generar términos de múltiples disciplinas científicas encaminados a la toma de decisiones sujetas a una evidencia empíricamente científica de múltiples campos científicos, asociándolos con ciencias sociales y humanidades.

**Figura 21. Cuenca hidrológica**

Fuente: Mi sistema solar (2018).

## La ecohidrología como herramienta de gestión de los recursos hídricos

Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en especial el objetivo número 6, “garantizar la disponibilidad y gestión sostenible de agua y saneamiento para todos”, los cuales pretenden cumplir la meta de “proteger y restaurar los ecosistemas acuáticos, incluyendo montañas, bosques, humedales, ríos, acuíferos y lagos para el año 2020” (UNESCO, 2015). Por lo tanto, la ecohidrología establece uno de los enfoques más innovadores dentro del ámbito de las ciencias ambientales, puesto que promueve la integración de la hidrología y la ecología, bajo el enfoque de la gestión sostenible de los recursos hídricos, tal como se puede evidenciar en la siguiente figura.

**Figura 22. Interrelación disciplinaria que conforma la ecohidrología**

Fuente: Martínez Valdés & Villalejo García (2020).

Dicha gestión depende directamente de la capacidad de los seres humanos para mantener todos esos procesos evolutivos de circulación del agua y sus nutrientes, así como los diversos flujos energéticos a escala de las cuencas hidrológicas, lo que permitirá ordenar de manera íntegra todo los procesos biológicos, biogeoquímicos e hidrológicos como elementos de gestión.

## Mejores prácticas en la gestión de recursos hídricos

La dirección de recursos hídricos confiere la planeación, aprovechamiento y transporte de acuíferos en un hábitat con pastizales, está encaminado a conseguir que se destine de manera equitativa los recursos hídricos para poder conservar el medio ambiente, lograr un progreso económico y poder realizar actividades recreativas.

Estas prácticas para mejorar la gestión de recursos hídricos muestran un planteamiento encaminado a reducir las inundaciones, la erosión, condiciones del agua y combatir con la sequía, además de cuidar los servicios que nos ofrece el medio ambiente como la filtración de nutrientes y de patógenos que llegan a cuencas hídricas.

La gestión inadecuada de los recursos hídricos y el pastoreo cerca de una fuente hídrica ha ocasionado una disminución en la calidad del agua, en especial en lugares próximos a una cuenca. Al iniciar con un buen manejo hídrico, las personas que

trabajan en zonas aledañas podrán contribuir con la reducción o eliminación de los efectos negativos que producen ciertas prácticas ganaderas (Dourojeanni, 2010).

Las buenas prácticas del agua confieren toda actividad que realiza una entidad social como comunidades, ONG, instituciones, entre otros, las cuales aportan un servicio de cuidado y preservación de los recursos hídricos, además de la reducción del daño medio ambiental bajo una mirada de gestión integral de las aguas.

Existen múltiples criterios con los cuales se evalúa si una acción es una buena práctica para la gestión hídrica; una de ellas es que la posibilidad de la participación de varios actores y que sus propuestas sean tomadas en grupo, que aporten soluciones a un asunto en específico, que propongan soluciones bajo un tiempo sostenible, que generen resultados positivos para los involucrados y los aspectos culturales del lugar.

Por lo tanto, el identificar y estudiar una práctica de gestión del agua para saber si es óptima, se realiza para la creación de estrategias que permiten mejorar y divulgar entre actores para que generen conocimiento y las replanteen.

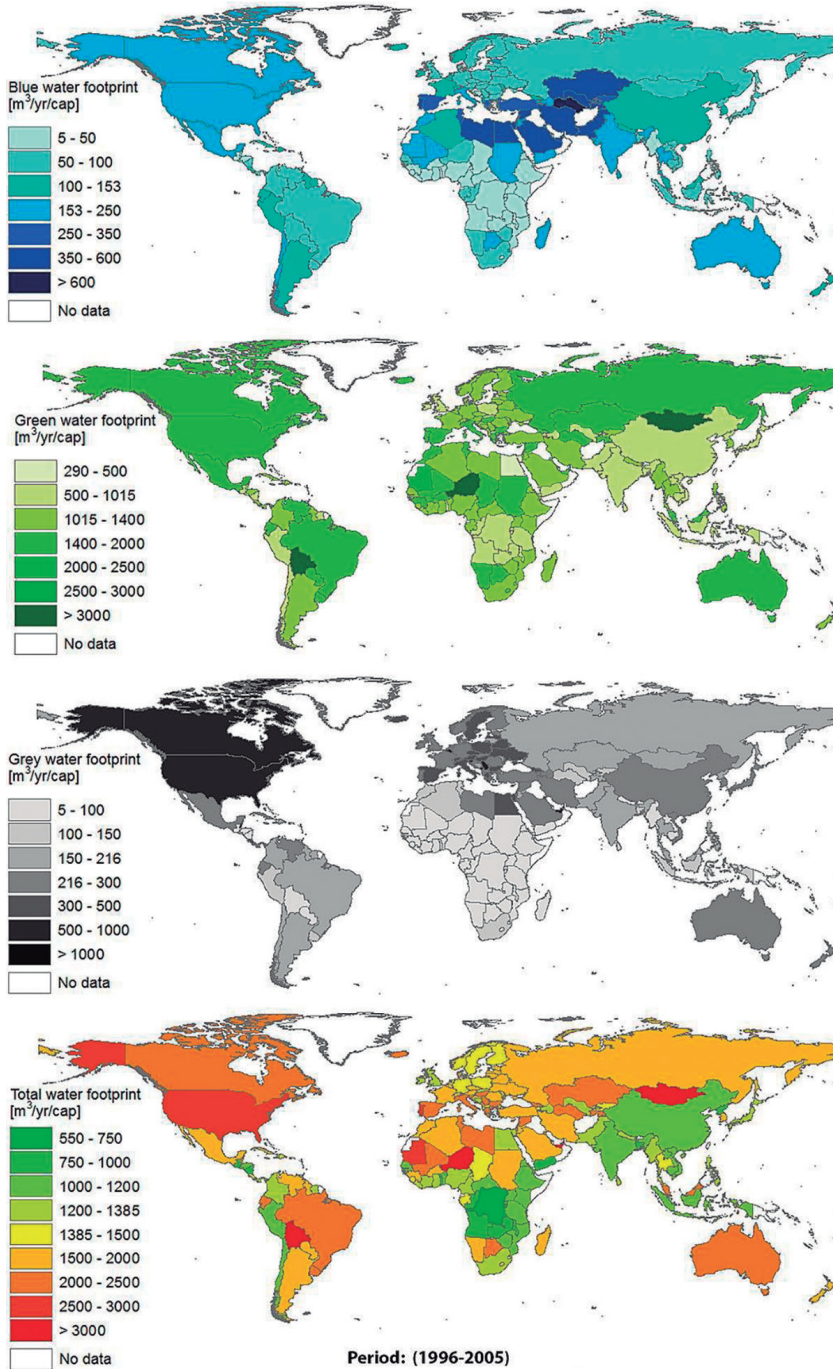
## La huella hídrica

El concepto de huella hídrica fue introducido propuesto por (Allan, 1998), como un indicador que permitiera determinar el impacto del consumo humano en el agua dulce, de tal manera, este se puede referir a un producto, consumidor, empresa, región o país.

La huella hídrica total está compuesta por la huella hídrica verde, azul y gris, donde:

- » Huella hídrica verde: volumen de agua que se evapora o incorpora dentro de cualquier proceso de producción, principalmente para productos agrícolas y forestales, refiriéndose a la totalidad de evapotranspiración del agua en los campos y plantaciones.
- » Huella hídrica azul: volumen de agua que se ha evaporado en la superficie y el subsuelo, la cual se ha incorporado a un producto o bien se ha devuelto a una cuenca o se ha descargado sobre el mar. Por lo tanto, se refiere a la cantidad de agua que no vuelve a su fuente inicial.
- » Huella hídrica gris: indicador asociado a la contaminación del agua dulce cuando se produce un producto, así como su cadena de suministro, por lo tanto, se define como la cantidad de agua necesaria para poder asimilar las cargas contaminantes hasta que tengan las concentraciones estipuladas por las normativas.

**Figura 23. Huella hídrica, azul, verde, gris y nacional per cápita**



Fuente: Hoekstra y Mekonnen (2012).

La combinación del crecimiento poblacional, la alta demanda de bienes y servicios que este genera y la sociedad actual que ha dejado a un lado la forma en la que se fabrican estos productos han causado un desmejoramiento progresivo del medio ambiente, contribuyendo a la actual crisis que vive el planeta tierra. Existen múltiples mercados que no cumplen con el ideal de sostenibilidad sino que, al contrario, la fabricación de productos lleva consigo un alto gasto de agua, energía y materia prima que deja residuos.

En este orden de ideas, la huella hídrica es un indicador para tomar decisiones a nivel empresarial. Una buena gestión hídrica es una de las tantas estrategias que ofrecen rentabilidad a una empresa, como las que se apoyan en esto para fabricar su producto. Por lo tanto, se puede concluir que una buena gestión del agua es un elemento fundamental en materia de prestigio y beneficio para la misma, tomando como un nuevo reto el identificar y estudiar qué tipo de impacto sujeto a su producto afecta a la huella hídrica.

La huella hídrica nos muestra información que nos lleva a fijar un planteamiento que parte de un análisis de operaciones y del planeamiento de un sistema de gestión hídrico en un lapso definido, enfocado en invitar a otros actores a ser parte ya que se tiene en común los riesgos, el espacio y los efectos. Así mismo, la huella hídrica también se contempla bajo un enfoque del consumo, ya que se evalúa dependiendo de los bienes y servicios que la ciudadanía consume.

Por esta razón, el gobierno colombiano tomó como alternativa de promover el ejercicio de presentar planes de acción para modificar el tipo de producción y consumo de la población, disminuyendo el índice de contaminación, facilitando la conservación de la flora y fauna, fortaleciendo la sostenibilidad de la biodiversidad y creando el potencial empresarial y mejor calidad de vida (Viceministerio de Ambiente, 2010).

Además, el gobierno nacional también cuenta con la Política Nacional del Recurso Hídrico, la cual ofrece gestiones, índices, objetivos y un plan de trabajo para manejar los recursos hídricos (Viceministerio de Ambiente, 2010). Este indicador del medio ambiente permite que las empresas comuniquen e informen la responsabilidad que tienen con el cuidado y conservación del agua, apoyándose en planes de trabajo y metas que puedan ser cumplidas para la protección de este recurso.

### ***Formas de disminuir el impacto de huella hídrica en una empresa***

Una de las maneras de obtener beneficios del agua ya previamente usada en otros procesos es mediante su reutilización. Se trata de usar el agua bajo un circuito abierto en dos o más funciones sucesivas y diferentes, separadas por un intervalo de fase de tratamiento.

Para llevar a cabo la reutilización en un proceso, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Ordenar las corrientes hídricas y los usos que presentan.
2. Ajustar las clases de aguas con los usos potenciales.
3. Establecer el nivel de mejora de las corrientes hídricas escogidas.
4. Separación de las corrientes.
5. Revisar el efecto que han tenido los planes de trabajo al momento de hacer el balance global hídrico.

Para disminuir la huella hídrica, se deben considerar los siguientes aspectos:

- » El agua cruda contiene un menor porcentaje de contaminantes en comparación con la mayor parte de las aguas residuales.
- » Se pueden usar los mismos recursos tecnológicos tanto para purificar agua cruda como para el tratamiento de aguas residuales destinadas para realización.
- » Para poder reutilizar el agua es clave contar con múltiples artefactos tecnológicos para extraer de manera óptima los patógenos peligrosos o que bajan la calidad del agua.
- » Hasta el momento, no existe tecnología alguna o en particular que logre eliminar completamente todos los tipos de patógenos y contaminantes del agua.
- » Existen artefactos tecnológicos que de manera conjunta reducen de manera efectiva el nivel de cualquier tipo de contaminante a tal nivel en para que agua pueda ser usada por el ser humano.

También existe un proceso más sencillo, se habla del método de recirculación. Este proceso trata de usar por un tiempo indefinido cierta cantidad de agua para una misma actividad, de manera que se contrapesan las pérdidas causadas por la evaporación o por los retos que se desechan en algún proceso industrial. El nivel de recirculación puede llegar a un alto grado, lo que genera un alto nivel de concentración de sales.

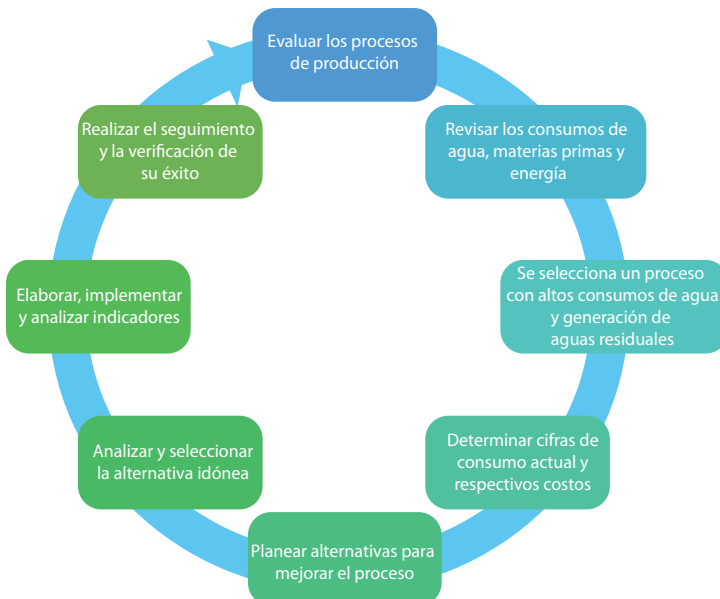
### ***Formas para disminuir el impacto de la huella hídrica de manera personal***

Para lograr disminuir la huella hídrica de manera personal, los seres humanos debemos aplicar a diario prácticas sostenibles que ayuden a reducir el consumo de agua.

A continuación, se presentarán algunos métodos para contribuir a este proceso de ahorro:

- » Cerrar la llave del lavamanos al momento de cepillarse los dientes, de lavar la cara, entre otros usos que impliquen abrirla.
- » Al momento de lavar frutas y verduras, hacerlo en un recipiente con agua, evitando hacerlo bajo el chorro del grifo.
- » Al momento de hacer la compra de un inodoro, elegir uno dual, ya que, al hacer el vaciado del tanque, estos solo usan mínimo cuatro litros para el vaciado y máximo seis, considerando el tope más alto.
- » Arreglar las llaves que presenten goteo.
- » Hacer duchas de máximo cinco minutos, cerrando la llave al momento de usar un producto y durante su aplicación, con esta práctica, se genera un ahorro de 150 litros.
- » Al usar la lavadora, usar la opción de carga máxima, ya que así se necesitarán menos ciclos por semana. Al realizar la compra de un electrodoméstico, verificar que este sea ecológico y usarlo en carga completa, generando un ahorro por lavado del 40 %.
- » Al hacer el riego de plantas en cualquier momento del día, preferiblemente hacerlo con regaderas, ya que con las mangueras difícilmente se controla la cantidad de agua usada para esta actividad.
- » Hacer campañas que inculquen el ahorro del agua, en especial con los niños; se recomienda evitar la compra de juguetes que requieran el uso del agua.

**Figura 24. Acciones exitosas para el ahorro del agua en un proceso de electrolisis y enjuague**



Fuente: Corantioquia (s. f).



## **Análisis, comprensión y mantenimiento de servicios ecosistemáticos**

Los seres humanos tenemos acceso a múltiples beneficios de los ecosistemas que nos rodean y la biodiversidad que estos contienen, en ello varios de estos espacios se han convertido en sistemas de producción intensiva de bienes, tales como selvas y bosques, los cuales se han transformado en sistemas agropecuarios generadores de alimentos. Estos cambios han generado que los ecosistemas nos ofrezcan más beneficios y que seamos indiferentes a estos.

De esta forma, el ser humano ha ido saciando sus necesidades mientras ha acabado con la suficiencia que nos ofrecen los sistemas naturales para aumentar nuestra condición de vida. No se ha hecho un contrapeso justo, se ha tenido la posibilidad de tener múltiples beneficios a costo de desmejorar otros, nos hemos enfocado en obtener mayores beneficios del entorno y por ello se han ocasionado múltiples consecuencias desfavorables para el medio ambiente.

La definición de servicios ecosistémicos o también conocidos como servicios del ecosistema o ambientales usada y distinguida es la planteada por la ONU en la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio* (Millennium Ecosystem Assessment), la cual confiere los beneficios que ofrecen los ecosistemas a la población para ser ejecutados en cualquier contexto. Estos beneficios son recibidos a la población como un tipo de servicio (regulación), en forma de valor (servicio cultural) y en forma de bienes (aprovisionamiento) (ONU, 2005).

### **Clasificación de sistemas ecosistémicos**

Hay múltiples maneras de catalogar los servicios de ecosistemas, entre las más comunes está la división por bienes y servicios, la cual consiste en discernir de lo que el ser humano consume y puede tocar a lo que no puede tocar y solo le genera un beneficio. De igual forma, esta forma de catalogar no posibilita un vínculo cercano entre la manera en la que se ofrecen los servicios y la forma en que la humanidad se ve favorecida.

Estas clasificaciones fueron planteadas por Millennium Ecosystem Assessment, un proyecto de índole internacional que resumió toda la información existente sobre la limitada relación entre un ecosistema y la sociedad actual (ONU, 2005).

De los servicios más reconocidos, se encuentra el de provisión, que comprende los bienes tangibles, conocidos también como recursos naturales. En esta clasificación se encuentran los alimentos, el agua y la madera, los cuales brindan la manutención básica del ser humano. El esfuerzo que realiza el ser humano para tener su manutención básica u provisión es lo que genera una alta actividad económica y de producción.

Otro de los servicios indispensables para la calidad de vida, pero difícil de reconocer para el ser humano es la regulación, este comprende un desarrollo ecosistémico complicado, en el cual se hace una regulación de las particularidades del ambiente de tal forma que sea un espacio óptimo para que el ser humano realice actividades. En esta categoría se incluye la coordinación climática, de enfermedades y deterioro del suelo.

De los principios primordiales en la ecohidrología están los servicios culturales, este tipo de ecosistemas dependen de la visión colectiva que tenga el ser humano en torno a los ecosistemas y las partes que lo conforman. Estos servicios pueden ser de índole material o no material, tangibles o intangibles, dentro de esta categoría también están los beneficios espirituales o denominados también beneficios recreativos o de educación.

Los servicios de sustento son aquellos que nos confieren un proceso ecológico fundamental que afianza el correcto funcionamiento de los ecosistemas y la prestación de servicios de tipo provisional, regulación y cultural.

El tipo de posición cultural, política y económica en una población indica que tipo de decisiones toman en torno al manejo de un ecosistema, de manera que se promueva o se afecte, ya sea de manera consciente o premeditada los múltiples servicios ofrecidos. Además, los servicios ecosistémicos reflejan que nivel tiene el bienestar del ser humano y por ende las condiciones de este, si estos sufren escasez o un gran nivel de desigualdad en materia de servicios, causando problemáticas sociales y políticas (ONU, 2005).

Tabla 1. Servicios ecosistémicos, beneficios que brindan a las poblaciones humanas y procesos ecosistémicos asociados a estos servicios

| Servicio                                     | Importancia para el bienestar humano           | Tipo de ecosistema que brinda el servicio   | Procesos ecosistémico-involucrados en el servicio  | Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio  |
|--|--|---|--|--|
| <b>Alimentos derivados de la agricultura</b> | Sustento básico y recursos económicos          | Campo agrícola  | Productividad primaria; transformación de la luz solar en tejido vegetal por medio de la fotosíntesis  | Remoción de la cobertura vegetal, uso de insumos químicos, riego, maquinaria o sustitutos orgánicos, introducción de especies, selección o mejoramiento genético |
| <b>Alimentos derivados de la ganadería</b>   |  | Pastizal, encierros, campo agrícola (complementos alimenticios), matorrales, selvas y bosques | Productividad secundaria/ terciaria: transferencia de energía desde los productores primarios (que realizan la fotosíntesis) hacia niveles tróficos superiores | Cría de ganado en pastizales, encierros o zonas de cobertura vegetal, suplementación alimenticia, introducción de especies, selección o mejoramiento genético    |
| <b>Alimentos derivados de la pesca</b>       | Material de construcción y bienestar económico | Océanos, ecosistemas costeros y ecosistemas acuáticos continentales                           | Productividad primaria   | Extracción de productos marinos silvestres, manejo del ecosistema  |
| <b>Alimentos derivados de la acuicultura</b> |  | Cuerpos de agua naturales y artificiales  |  | Introducción de especies, construcción de estanques, establecimiento de granjas, suplementación alimenticia  |
| <b>Madera</b>                                |  | Bosques y selvas  |  | Extracción de individuos de talla y especies comerciales; manejo forestal  |

| Servicio                              | Importancia para el bienestar humano   | Tipo de ecosistema que brinda el servicio                             | Procesos ecosistémico-involucrados en el servicio  | Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio   |
|---------------------------------------|--|---|--|---|
| <b>Leña</b>                           | Fuente de energía  | Bosques, selvas, matorrales, manglares, desiertos                     | Productividad primaria   | Extracción  |
| <b>Recursos diversos</b>              | Usos múltiples (alimentos, medicinas, materiales de construcción), recursos económicos, importancia cultural (presente o futura) | Todos los ecosistemas del país  | Mantenimiento de la biodiversidad y de las poblaciones de especies útiles                    | Extracción, manejo de especies, manejo de ecosistema  |
| <b>Agua (cantidad)</b>                | Sustento básico, actividades productivas (agricultura, industria), funcionamiento de los ecosistemas.                            | Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera | Interacciones entre patrones climáticos, vegetación, suelo y procesos del ciclo hidrológico  | Construcción de presas, sistema de riego/alcantarillado, manejo de cuencas  |
| <b>Agua (calidad)</b>                 | Regulación de concentraciones de contaminantes y organismos nocivos para la salud humana y la del ecosistema                     | Ecosistemas terrestres y acuáticos continentales, océanos y atmósfera | Interacciones químicas, físicas y biológicas de ecosistemas, acuáticos y terrestres          | Reducción en la liberación de contaminantes, mantenimiento de ecosistemas y procesos                                |
| <b>Regulación de la biodiversidad</b> | Regulación de casi todos los servicios ecosistémicos   | Todos los ecosistemas del país  | Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas | Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies |

| Servicio   | Importancia para el bienestar humano   | Tipo de ecosistema que brinda el servicio | Procesos ecosistémico-involucrados en el servicio   | Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio  |
|--|--|---|---|--|
| <p><b>Regulación de plagas, de vectores de enfermedades y de la polinización</b></p> | <p>Regulación de los polinizadores: producción de algunos cultivos comerciales; regulación de plagas y vectores de enfermedades control biológico de organismos nocivos</p>  | <p>Todos los ecosistemas del país</p>     | <p>Interacciones biológicas entre organismos y con los componentes abióticos de los ecosistemas; mutualismo (polinización), competencia, depredación, mantenimiento</p> | <p>Mantenimiento de la biodiversidad, manejo de especies individuales, manejo de ecosistemas, introducción de especies</p> |
| <p><b>Regulación de la erosión</b></p>   | <p>Mantenimiento del suelo y sus servicios de moderación del ciclo hidrológico, soporte físico para las plantas, retención y disponibilidad de nutrientes, procesamiento de desechos y materia orgánica muestra, mantenimiento de la fertilidad del suelo y regulación de los ciclos de nutrientes</p> | <p>Ecosistemas terrestres del país</p>    | <p>Interacciones entre la vegetación y los macro y microorganismos del suelo, que mantienen a este y sus funciones</p>  | <p>Mantenimiento de biodiversidad del suelo, de cobertura vegetal y de procesos</p>  |

| Servicio   | Importancia para el bienestar humano   | Tipo de ecosistema que brinda el servicio                         | Procesos ecosistémico-involucrados en el servicio   | Actividades humanas involucradas en la obtención del servicio  |
|--|--|---|---|--|
| <b>Regulación del clima</b>                                    | Mantenimiento de condiciones climáticas adecuadas para la vida humana, sus actividades productivas y la vida en general                    | Atmosfera y todos los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos | Interacción entre la atmosfera y sus componentes, y con la tierra y su tipo de cobertura                            | Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y conservación/manejo de cobertura vegetal               |
| <b>Regulación de la calidad del aire</b>                       | Regulación de concentraciones de contaminantes nocivos para la salud y para la visibilidad   | Atmosfera y todos los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos | Interacciones entre la atmosfera y sus componentes, la tierra y su tipo de cobertura, y las actividades productivas | Reducción de emisiones de contaminantes y manejo de cobertura vegetal  |
| <b>Regulación de la respuesta a eventos naturales extremos</b> | Regulación de la respuesta de los sistemas naturales al embate de eventos naturales extremos y sus consecuencias sobre la población humana | Atmosfera y todos los ecosistemas terrestres                      | Interacciones entre los componentes físicos y bióticos de los ecosistemas y os patrones climáticos                  | Conservación/manejo de ecosistemas terrestres  |
| <b>Servicios culturales</b>                                    | Seguridad, belleza, espiritualidad, recreación cultural y social para las poblaciones  | Todos los ecosistemas del país                                    | Evolución al largo del tiempo y del espacio de la interacción entre los humanos y los ecosistemas                   | Mantenimiento de la biodiversidad y de los ecosistemas del país, mantenimiento del conocimiento y percepciones |

Fuente: (Bahamera &amp; Cotler, 2011).

## Ecohidrología tropical

Las particularidades del clima en las zonas tropicales son de gran interés para la hidrología, en específico la superficial debido a la fuerza con la que llueve y lo rápido que pasa el agua en las cuencas hídricas.

Debido a que es irrealizable la medición de variables hidrológicas, se hace necesario de utilizar de buena manera los estudios existentes, con fines de extrapolación a cuencas hídricas evaluadas con anterioridad. Gracias a esto, para especificar la conducta hidrológica de una cuenca de la cual existen varios estudios que otras cuencas no tienen, es de gran significancia.

El clima tropical consta de particularidades propias, lo cual hace complicado el hallar una variable metodológica, en especial cuando se trata de la división de las lluvias, ya que las complicaciones que creadas cuando las lluvias aparecen, en las cuencas se genera una respuesta a esta aparición, por lo cual es de gran importancia al momento de escoger un régimen de lluvias.

Al momento de realizar un estudio hidrológico en una zona tropical se deben tener en cuenta aspectos como el espaciado entre episodios de lluvia, los cambios en la intensidad de cada episodio y cómo va sujeta a otras variables del entorno como la hora, todo esto en un periodo determinado.

Este tipo de ecosistema tiene un escenario muy particular ya que en él se puede apreciar de mejor forma los procesos ecohidrológicos, puesto que estos se ven afectados por los cambios repentinos que ocurren en las zonas, lo cual hace que su investigación sea algo limitada.

Estas limitaciones también se ven influenciadas por la pérdida progresiva de los ecosistemas natos debido al gran desarrollo agrícola y por la continua presencia de deforestación en los ecosistemas, lo cual genera grandes cambios y dificultades en los flujos ecohidrológicos.

Así mismo, la disponibilidad de agua es variable, y esta variación es causada por los cambios climáticos constantes que poco a poco van afectado los flujos de agua y las cantidades de carbono existentes en el ecosistema tropical. Actualmente existen múltiples sistemas que nos indican la mejor forma de entender como la alteración del clima y demás factores afectan significativamente los procesos ecohidrológicos, entre estos están los isótopos estables, sensores remotos y modelos basados en procesos.

De igual forma los conocimientos que se tienen en torno a métodos físicos subyacentes, específicamente de los que precisan el impacto a escala en los procesos del ecosistema no están completos. El desarrollo de un amplio conocimiento sobre la incidencia de los cambios en el funcionamiento de los procesos hidrológicos, ecológicos y

químicos en distintos niveles es más que una necesidad en la región del trópico y debe ser usada como una brújula para las personas que estudian estas zonas tropicales.

Para poder desarrollar este conocimiento, en especial en los jóvenes, es recomendable realizar una investigación previamente planificada en la cual se tenga previsto entablar conversaciones con investigadores de los trópicos (Wright *et al.*, 2018).

### ***Principales particularidades de la ecohidrología en los trópicos y subtrópicos***

Una de las características más notables es la gran biodiversidad de vida que existen en estas regiones debido a la variedad de climas y la presencia de altas temperaturas que ayudan al desarrollo de la flora, además de la presencia de microclimas que varían de húmedo en partes bajas a bosques con neblina, mesetas con climas fríos y praderas con presencia de calor.

Este territorio también se caracteriza por las amenazas que persisten en él, además la explotación de recursos naturales en el trópico es mucho mayor debido a que la mayor parte de la población es afectada por la pobreza ya que no cuentan con el acceso a recursos existentes en otras zonas a diferencia del resto de la población del país.

**Figura 25. Clima tropical**



Fuente: Enrique Arriols (2018).



En cordilleras como la del Himalaya y los Andes se están empezando a presenciar derretimiento precipitado en los glaciares, generando un descenso del caudal de las cuencas en la época de verano, de las cuales dependen grandes poblaciones.

Las montañas que cuentan con ecosistemas tropicales como el páramo alto de los Andes o los arcos orientales en Tanzania están presentando notorios cambios encaminados a la pobreza debido a la alta cantidad de niebla o nubes, fuertes e intensos episodios de lluvias con presencia de periodos de sequía.

Así mismo, una de las falencias que los seres humanos tenemos con respecto a las zonas tropicales es la falta de estudios y conocimiento de esta zona, que, a diferencia de las zonas templadas como Hawái y Panamá, los trópicos presentan extensas áreas en blanco en relación con las investigaciones. Se tiene entendido que las normas de la ecohidrología son de orden mundial y las investigaciones que se realizan de esta nos muestran una extensa muestra de interacciones ecohidrológicas en varios ecosistemas, con lo que se concluye que no es posible inferir los resultados obtenidos de un ecosistema a otro.

Una gestión sustentable del planeta tierra necesita una investigación y entendimiento detallado sobre la relación que existe entre el agua, la tierra y su biodiversidad, y las actividades de los seres humanos. Los bosques y humedales son ecosistemas que se caracterizan por regular de forma natural la condición del agua, por ende, el cuidado de este tipo de ecosistemas y el entendimiento de estos procesos que ayudan a preservar el agua deben hacer parte del plan estratégico diseñado para el correcto gestiónamiento del agua y del medio en países en vía de desarrollo, es decir, el dejar que la naturaleza realice sus procesos y el hecho de que no se necesite una estructura con un alto valor económico, son unos de los tantos beneficios que se desencadenan del cuidado de los ecosistemas, la preservación de la biodiversidad, el secuestro de carbono y cuidado de los recursos naturales (Torres, 2000).

## CAPÍTULO 3

# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE RECURSOS HÍDRICOS

El cambio climático se ha convertido en una cruel realidad, muy evidente desde hace ya algunos años atrás, además de volverse uno de los retos más grandes a los que se debe enfrentar la humanidad , pues incluyen los efectos adversos que impiden el desarrollo global e incluso la capacidad para lograr el desarrollo sostenible de varios países (Cevallos Rodríguez & Reyes Clavijo, 2021).

**Figura 26. Efectos del cambio climático**



Fuente: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com).

Para poder contrarrestar el cambio climático las naciones cuentan con un desafío a contra reloj lo cual exige que tomen las acciones necesarias con un oriente fijo y que sean sostenibles a largo plazo.

El agua es indispensable para la vida de todo ser que habite este mundo y es esencial para conseguir un desarrollo sostenible, además es un derecho humano el agua potable y el saneamiento básico, lo cuales tienen un aporte importante con el desarrollo socioeconómico, la salud del ecosistema y la seguridad alimentaria también tiene una función crucial en la morbilidad mundial y la mejora de la salud, la productividad y el bienestar de las poblaciones.

Se puede encontrar una relación entre la crisis del cambio climático y el agua que tiene su dificultad al momento de querer encontrar una solución al problema.

El cambio climático trae muchas consecuencias en el medio ambiente y afecta el ciclo del agua por las lluvias abundantes en ciertos países o por sequías en otros, fenómenos climáticos extremos o inundaciones de gran dimensión, se reduce la capacidad de disponibilidad del recurso hídrico, disminuye considerablemente la calidad del agua y se convierte en una amenaza para conseguir un desarrollo sostenible, también a la biodiversidad y que los seres humanos puedan disfrutar del derecho al agua potable y el saneamiento en todos los países.

Por ende, se debe adoptar un enfoque integrado del cambio climático y la gestión de los recursos hídricos, pero esto no puede conseguir solo por medio de políticas o ideologías, se debe contar con un compromiso por parte de los gobiernos al crear estrategias que cuente con criterios claros, técnicos y profesionales que serán una guía para que los ciudadanos también aporten a la mejora del cambio climático.

Además, no se puede dejar a un lado el estrés hídrico y las demandas a futuro que se deben satisfacer, por ellos se verá la humanidad en la obligación de tomar decisiones cada vez más difíciles sobre la distribución de los recursos hídricos con relación al agua potable incluyendo las actividades que cuentan con el objetivo de mitigar el cambio climático y conseguir una adaptación al mismo.

Con la idea de conseguir un futuro sostenible se deben dejar las prácticas habituales y se tendrá que hacer un análisis de la gestión de los recursos hídricos con una nueva perspectiva que esté centrada en la resiliencia ante el cambio climático y los efectos que conlleva.

Para conseguir una mejora en los datos hidrológicos se deben realizar grandes inversiones, pero no solo en este tema, sino también en la educación, las instituciones, la gobernanza y el desarrollo de la capacidad, incluyendo la evaluación de riesgos y un intercambio del conocimiento. Si se realizan políticas, estas deben garantizar la participación, la representación, una mejora en el comportamiento y una rendición de cuentas de las partes interesadas contando a los sectores privados y a la sociedad en sí.

Aunque se tiene en mente ayudar a todo el mundo no se puede dejar fuera de los planes de adaptación buscar una manera o estrategia que vaya destinada a las personas con bajos ingresos para que se desenvuelvan de una forma adecuada a las nuevas circunstancias porque resultan ser los más afectados por el tema del cambio climático (Canaza-Choque, 2019).

## **El desarrollo sostenible**

Para entender más a fondo el desarrollo sostenible se debe tener en cuenta el significado de cada una de sus palabras.

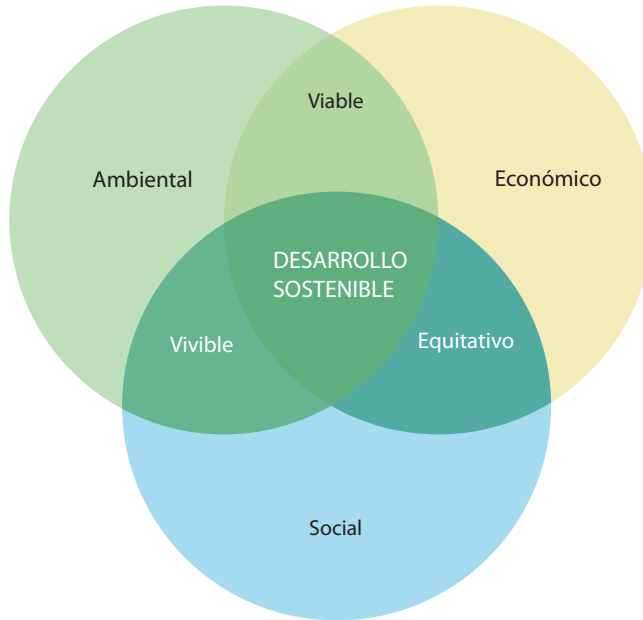
La palabra “desarrollo” cuenta con varios significados: crecimiento, expansión, aumento, todo esto mientras su objetivo sea conseguir algo positivo; por ejemplo, si se tiene en cuenta con relación a un área de territorio, su crecimiento será con aquellos elementos pertenecientes a un espacio en concreto que lo llevara a un estado superior de evolución o si lo relacionamos con un Estado el desarrollo será considerado por el lado de la economía.

También se debe tener en cuenta la definición por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD): “El desarrollo humano sostenible entraña que tenemos una obligación moral de hacer por las generaciones que nos sucederán por lo menos lo mismo que nuestros predecesores hicieron por nosotros. Significa que el consumo actual no puede financiarse durante mucho más tiempo incurriendo en deudas económicas que deberán pagar otros. Significa también que es preciso hacer inversiones suficientes en la enseñanza y la salud de la población de hoy, y así no crear una deuda social para generaciones futuras” (PNUD, 1994).

La palabra “sostenibilidad” define la PNUD “satisfacción de las necesidades básicas de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad y las oportunidades de las generaciones futuras; implica equidad tanto intrarregional como intergeneracional” (PNUD, 1998).

Teniendo en cuenta las definiciones dadas se puede considerar los objetivos fundamentales que persigue el desarrollo sostenible que cuenta con cuestiones claves para los problemas económicos, sociales y ecológicos de las poblaciones que se pueden resumir en los siguientes puntos:

- » Satisfacer las necesidades básicas de las personas
- » Conseguir un crecimiento constante de la economía
- » Lograr una mejora en la calidad del crecimiento económico
- » Atender los aspectos demográficos y sociales
- » Conseguir opciones tecnológicas adecuadas
- » Aprovechar, conservar y restaurar los recursos naturales

**Figura 27. Desarrollo sostenible**

Fuente: elaboración propia.

Considerando que los anteriores puntos son el objetivo de encaminar a una situación cada vez más favorables en pro de una actuación que tenga como concepto el desarrollo sostenible que beneficie a todas las personas, se debe llegar a cumplir por parte de los países unas condiciones mínimas:

- » La *equidad*: la distribución justa y por partes iguales de los recursos físicos y psíquicos teniendo en cuenta las necesidades de cada individuo. Con frecuencia se tiene en mente la palabra equidad para la riqueza material, pero para este contexto se tendrá a consideración el acceso equitativo a la educación, la salud y los derechos políticos. Pero aun así, la equidad debe reconocer que existe la pobreza extrema por la desigualdad económica y de bienes sociales que afectan a gran parte de los países.
- » La *participación*: en este punto se debe tener en cuenta las necesidades, costumbres, expectativas y el contexto cultural de las personas pertenecientes o que residen en el territorio que se decide estudiar porque con esta información se conseguirá el éxito de cualquier proyecto que se piense realizar. La colaboración es indispensable en la conservación de cualquier estrategia, además el ser humano tiene el derecho de dar su opinión y a participar en la toma de decisiones que conciernen a su futuro.

- » La *globalidad de los procesos*: para que el desarrollo sostenible sea posible, se deben hacer propuestas de estrategias con un objetivo global que afecten a todos los países y personas del mundo, no solo algunos lugares.
- » El respeto al medio ambiente con el principal objetivo de conservar la naturaleza y garantizar la renovación de los recursos: en este punto se va a tener en cuenta lo considerado por el PNUD con el fin de mantener la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades.

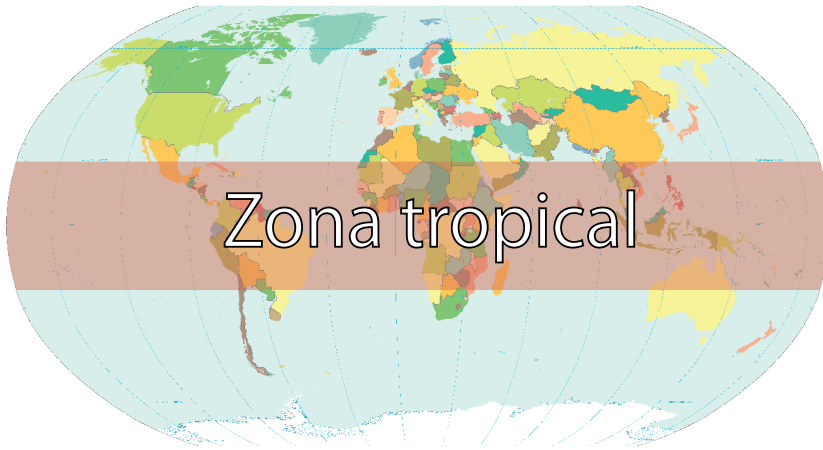
Como conclusión a este tema se debe destacar que el desarrollo sostenible sigue siendo un concepto básico para nuestra era, en el cual se considera una forma de comprender el mundo en busca de un método para resolver los problemas globales.

El desarrollo sostenible trata de conseguir la construcción de un mundo en donde el progreso económico esté extendido por todo el mundo, que la pobreza extrema disminuya hasta el punto de ser eliminada en su totalidad, la confianza social encuentre apoyo en políticas que cuenten con un objetivo de reforzar a las comunidades, además de que el medio ambiente tenga una protección para las desgracias causadas de forma directa e indirecta por el ser humano.

También se tiene una relación con la economía global que se encuentra en todos los países del mundo la cual consiste en las interacciones sociales que cuentan con la confianza, la ética, la desigualdad, incluso se interactúa con las redes de apoyo de comunicación sobre todo con las nuevas comunicaciones *online* conseguidas por la nueva revolución en la tecnología en la información conocidas como las TIC, además de analizar los cambios que complejos en el sistema de la tierra como los ecosistemas y el clima, por último estudia el comportamiento y problemas de los gobiernos y las empresas.

### ***Desarrollo sostenible en lugares tropicales***

Los trópicos presentan olas de calor las que presentan una continua amenaza a la biodiversidad, esto va a afectar a las regiones que tienen una población abundante y con una cantidad de recursos para poder adaptarse a las circunstancias.

**Figura 28. Zona tropical**

Fuente: Cinconoticias (2022).

Las zonas tropicales se les debe estudios específicos que expliquen y justifiquen la realización de los proyectos de desarrollo sostenible que llegaran a favorecer estos lugares porque cuentan con unos elementos y condiciones particulares, los comportamientos de las personas son diferentes y esto genera consecuencias muy características.

La formación y dinámica topográfica de los suelos en los territorios tropicales son causados por los procesos morfogenéticos y patogenéticos que son base a los eventos meteorológicos, oceanológicos, climatológicos, hidrológicos. Estos eventos tienen una estrecha relación con la vida animal y vegetal que generan poblaciones de animales con características propias de esos lugares (Cervantes *et al.*, 1999).

Por otro lado, se ha creado una relación profunda entre la vida humana con las condiciones naturales que llevaron a conformar espacios territoriales o geográficos característicos que portan un valor específico.

Con lo dicho anteriormente se puede concluir que todo aprovechamiento, mejoramiento o actividades novedosas, que tengan relación con la intervención en los territorios y de la naturaleza pertenecientes a los países tropicales, se debe tener en cuenta todas estas características para poder trasplantar y acoplar los métodos y técnicas de un desarrollo sostenible provenientes de los países con zonas templadas.

Además, se debe contemplar un punto clave: en estas regiones tropicales sus suelos son de fácil deterioro físico y químico, por ende, el concepto de agricultura autosostenida es de suma importancia.

El concepto mencionado requiere de una búsqueda de nuevas alternativas de tecnología para crear mejoras a largo plazo de una visión productiva de los sistemas de producción, por medio de un manejo racional de los recursos naturales renovables. Así mismo, cuenta con una combinación de varios aspectos como la conservación, tecnología y la política en pro de la producción, dependiendo de la vocación de cada una de los países y sus demandas en el mercado (Morales-Hernández, 1992).

### ***Gestión de los recursos hídricos sostenibles***

Las nuevas propuestas para la gestión de los recursos hídricos se han generado gracias a los avances en el conocimiento y la tecnología que buscan una solución a la denominada crisis del agua, la cual es una de las preocupaciones con mayor énfasis del planeta.

Existen propuestas pertenecientes a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), una de ellas es la gestión adecuada de los recursos hídricos, además de que cuenta con un objetivo especial que es reducir la pobreza y el hambre que agobia a una gran parte de la población humana.

Las personas y el medio ambiente se vuelven el centro de estas propuestas, las cuales van orientadas a la gestión del agua, ya que no solo llegan a afectar a la salud sino también por la influencia que tiene sobre el desarrollo y bienestar de los países.

Una definición de la *gestión integrada de recursos hídricos*, que fue dada por Global Water Partnership (GWP), es: “un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales” (WWAP, 2015).

Lo ideal sería equilibrar los usos que tienen los ecosistemas para mantener la vida en la tierra con los usos de las personas, donde se cree un ambiente que tenga como objetivo principal promover la democracia, la equidad, la participación y respetar los derechos de las regiones que presenten un nivel alto de vulneración. En esto se tiene en cuenta los derechos humanos con el propósito de que las personas tengan una mejor calidad de vida. Por estas cuestiones se puede hablar de una idea centralizada en crear un sistema analítico de los recursos hídricos.

Pero la humanidad se enfrenta a una realidad donde los métodos que son creados con el propósito de la gestión del agua no tienen una idea clara de cómo ejecutarlo en las regiones de América Latina porque en la mayoría se presenta con mayor rapidez un deterioro ambiental (Merlinsky *et al.*, 2020).

También se debe contar con un buen control del uso del agua porque el manejo de forma sectorial, que no mantiene una coordinación adecuada, resulta uno de los



problemas principales en las regiones de América Latina. Esta situación ha llevado a que los gobiernos entren en una crisis con el agua dado que los arreglos informales causados por la sociedad no tendrán relación con los arreglos institucionales formales.

Este último, aunque tenga legalidad, no tienen legitimidad y se genera una dificultad para poder aplicarlos porque no son hechos por el mismo país, sino que deciden usar alguno por presiones de las agencias internacionales o son tomados de otros países.

Existe un enfoque en orientar el desarrollo hacia la sostenibilidad, se trata de la PML (Producción Más Limpia), que está encargada de promover un mejoramiento en el desempeño de las actividades de una forma general, además de reducir el impacto causado por las actividades humanas sobre el medio ambiente. En sus inicios contaba con un énfasis en las actividades industriales, pero con el pasar del tiempo se fue aplicando poco a poco en diferentes sectores y uno de esos es el del agua para que su uso como materia prima en los múltiples procesos humanos mejore.

La PML cuenta con unas medidas enfocadas en las prevenciones que llevarán a los procesos tecnológicos a una mejora, considerando que se consiga un cambio en la actitud de la humanidad frente a la protección del ambiente. Además de contar con múltiples beneficios se puede conseguir que exista una disminución considerable en la contaminación y los riesgos ambientales, esto único con un gran aporte a la economía, la optimización de los procesos por medio de una mejor eficiencia en el uso de los materiales consiguiendo un resultado de menos desechos y una baja en los costos operativos (van Hoof *et al.*, 2018).

## **Riesgos principales que están asociados al cambio climático y el uso de los recursos hídricos**

La alteración del ciclo hidrológico y lo impredecible que se vuelve la disponibilidad del agua es una consecuencia del cambio climático que también genera un aumento de estrés hídrico en varias zonas del mundo.

Alrededor de 500 millones de personas residen en deltas fluviales, y el doble de personas viven en cuencas monzónicas volviéndose particularmente vulnerables y sobre todo en los países con más pobreza resultaran afectados. Los países deben conseguir la forma en gestionar los recursos hídricos de una mejor manera y los servicios asociados al tema para poder hacerle frente a los complejos e interrelacionados desafíos.

Estos temas causan una demanda de asistencia que se dirige hacia las Prácticas Mundiales de Agua del Grupo Banco Mundial al tener una mayor proporción en la cartera de proyectos.

Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos se han vuelto más frecuentes y con una intensidad mayor desde mediados del siglo XX; estos cambios pueden ir desde un descenso en las temperaturas llegando a ser extremadamente bajas o altas. El mar ha llegado a contar con una subida de nivel altísimo, y también las fuertes lluvias han conseguido ser más frecuentes en una cantidad de regiones.

Como se ha llegado a observar, los fenómenos extremos de lluvias se han vuelto más intensos y cuentan con una mayor frecuencia en muchas regiones, lo que generará un riesgo global de inundaciones. Empero no es así en todos los países porque en algunos lugares se presentan muy seguido fuertes olas de calor con una duración más prolongada, que conlleva a que existan sequías con una mayor intensidad. Todos estos riesgos no se darán de forma pareja en la escala geográfica, aunque afecte más a las personas y comunidades vulnerables, esto afectara a todos sin importar su nivel de desarrollo.

**Figura 29. Sequia**



Fuente: Fluence (2021).

El agua tiene el importante trabajo de ser mediador entre el cambio climático y la agricultura, pero no siempre puede ser así porque la escasez del agua se convierte en un reto para la adaptación climática.

Las reservas de agua terrestres se ven afectadas por los cambios en la temperatura y en las precipitaciones. Se espera que el aumento en las temperaturas del agua consiga que se incremente la evaporación de la superficie terrestre en una gran

parte del mundo sin tener en cuenta los lugares más secos en los cuales falta el agua y por ende es un impedimento para este aumento.

Aunque este impedimento se puede compensar con las grandes precipitaciones que ocurren varias zonas, no suprimen el hecho de que estos lugares cuentan con una disminución en el volumen de su caudal fluvial por la poca cantidad de lluvia presentada en un año lo que no les permite tener una buena disponibilidad del agua en las diferentes estaciones.

La disminución en estos lugares afecta la disponibilidad del agua para los procesos en la producción agrícola, industrial y el suministro doméstico, incluyendo los cursos del agua utilizados para generar energía, la pesca, la navegación, el ocio y el medioambiente.

Los lugares en los que el agua se presenta en estado sólido como los hielos en los lagos, ríos, mares y los glaciales de los polos están sufriendo de alteraciones causadas por el cambio climático que resultan en la disminución de la cantidad de estas superficies.

Con la aceleración del hielo derretido afecta de manera negativa los recursos hídricos que nacen en las regiones montañosas y de las llanuras cercanas, aunque también esta situación puede aumentar el flujo fluvial en un corto tiempo y en lugares en específico, esta disminución de la capa de hielo hace que aumente el nivel del mar lo que conlleva a que ocurran inundaciones y amenazas a los litorales costeros (lugar donde el agua es poco profunda y existe una interface de océano-continente) (Banco Mundial, 2017).

## CAPÍTULO 4

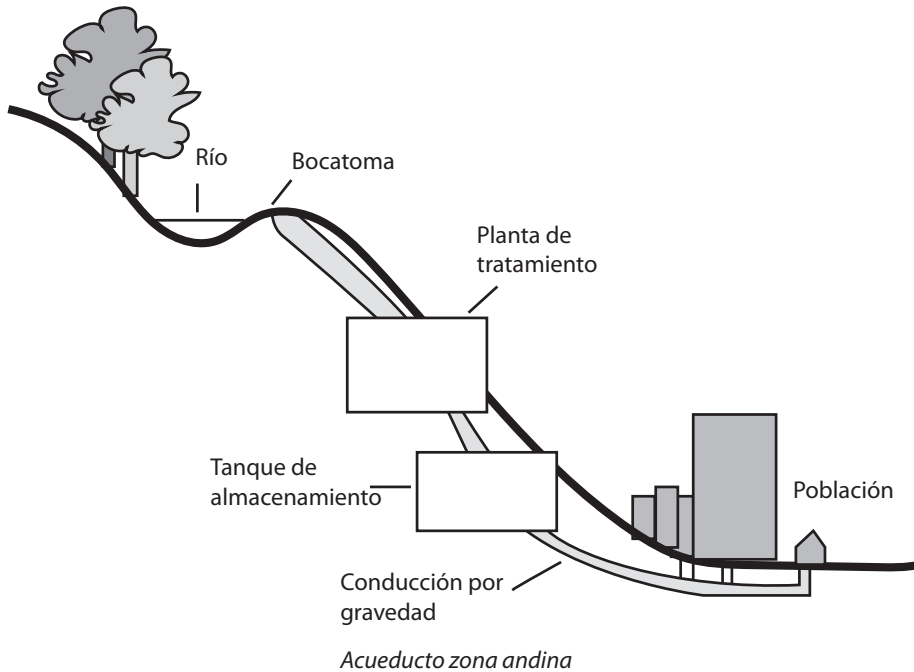
# ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN COLOMBIA

Colombia es un país de un con gran cantidad de recursos hídricos, este se caracteriza por ser uno de los nueve países con mayor disponibilidad de agua en el mundo entero, ahora bien, que un país sea rico en recursos no significa que este necesariamente haga un uso y manejo mesurado de ellos.

Paradójicamente, en Colombia el 30 % de la población presenta problemas en la gestión de recursos hídricos, ya sea por aguas contaminadas sin tratamiento alguno, falta de abastecimiento de agua potable o incapacidad de saneamiento en los sistemas de alcantarillado, estas problemáticas hídricas están presentes en más de 300 municipios de Colombia (Banco Mundial, 2020).

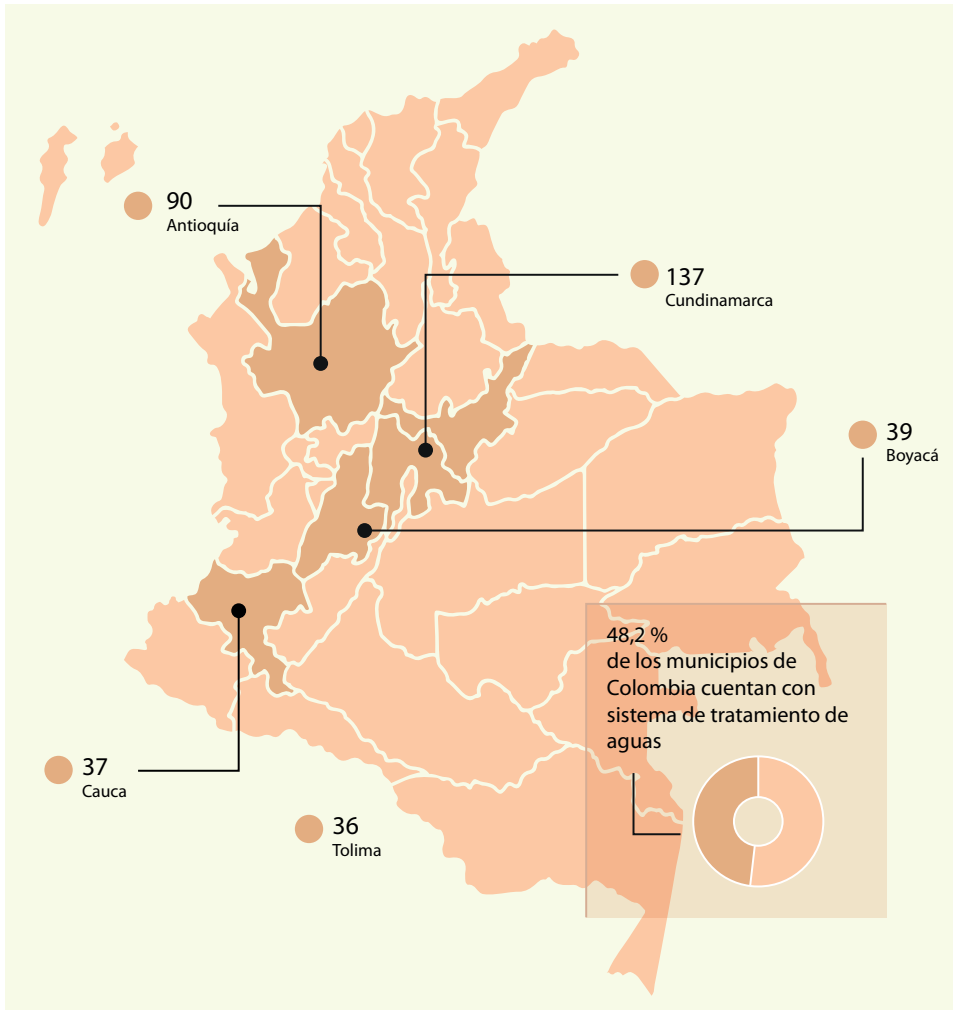
Los problemas hídricos en Colombia se presentan por cuatro razones fundamentales:

1. **Infraestructuras ineficientes:** la captación, almacenamiento, tratamiento y distribución de aguas es un aspecto altamente significativo en la gestión de recursos hídricos para cualquier población, lamentablemente en Colombia las instalaciones encargadas de estos procedimientos no cuentan con la capacidad necesaria para efectuar de manera eficiente estos procesos (Damonte *et al.*, 2022).

**Figura 30. Partes de un acueducto**

Fuente: SENA (s. f).

- Ausencia de sistemas de remediación:** una vez el agua es utilizada, ya sea doméstica, agrícola o industrialmente, esta debe someterse a procesos de tratamiento y remediación, los cuales evitan contaminación por vertimiento de aguas residuales a los acuíferos. En Colombia aproximadamente el 47 % de las aguas residuales no son tratadas, es decir, casi la mitad del total de aguas residuales generadas en el país no presenta un tratamiento de saneamiento ni remediación, esta cifra es altamente preocupante en términos de contaminación y salud pública (Bolívar Pedraza, 2021).

**Figura 31. Tratamiento de aguas residuales en Colombia**

Fuente: Vanegas Loaiza (2018).

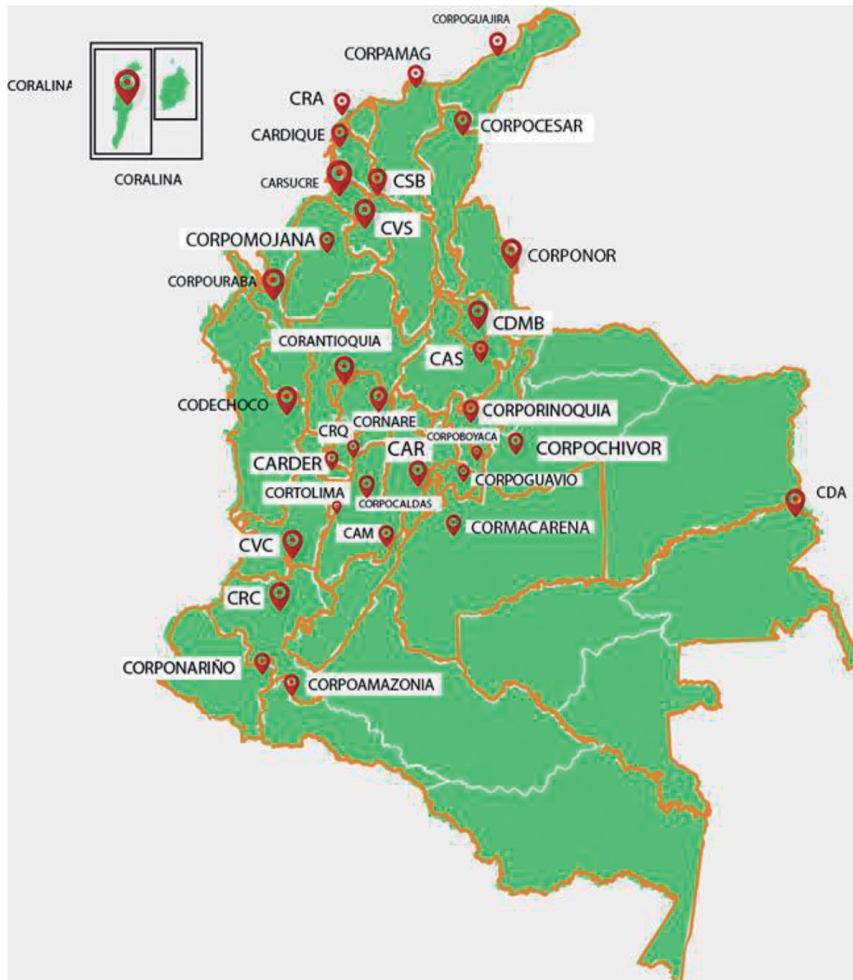
3. **Falta de control y planeación Gubernamental:** el gobierno nacional de Colombia cuenta con entidades ambientales que tienen como función incentivar y llevar a cabo programas ambientales que velen por la sostenibilidad ambiental, tales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo, que es la entidad máxima, y las Corporaciones autónomas regionales de Desarrollo y ambiente.

El problema aquí radica en que estas instituciones no ejercen el control necesario en cuestiones de seguridad ambiental e hídrica, estas entidades son ineficientes, negligentes y muy permisivas en la aprobación de permisos

ambientales. Por otra parte, los planes de desarrollo ambiental para combatir la contaminación y fomentar la sostenibilidad en la mayoría de los casos no se implementan en su totalidad, por tal, las problemáticas ambientales persisten constantemente (Viceministerio de Ambiente, 2010).

En la siguiente figura se pueden observar las corporaciones autónomas regionales del país.

**Figura 32. Corporaciones autónomas regionales**



Fuente: MinAmbiente y Desarrollo Sostenible, s. f.

4. **Fenómenos naturales:** las condiciones atmosféricas en varias zonas del país generan fenómenos climáticos como sequías, inundaciones y aumentos de temperaturas desmedidos, las anomalías pluviales como el fenómeno de El

Niño y La Niña conllevan a que al menos 250 municipios estén en riesgo de escasez de agua, lo que obliga al gobierno nacional a racionalizar el agua, ocasionando dificultades en el acceso necesario de agua para la población (ONU, 2015).

En este orden de ideas, la gestión de los recursos hídricos en Colombia es un aspecto que tiene variedad de falencias, pero que puede ser regulado por entidades ambientales. La dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), es la entidad encargada en Colombia de fomentar la gestión sostenible del recurso del agua, esto en términos sociales, económicos y ambientales, de modo que la combinación de estas tres genera la implementación de objetivos, indicadores, líneas de acción y estrategias para el aprovechamiento coordinado, sostenible y responsable del agua.

Ahora bien, tras conocer las problemáticas presentes en la gestión del agua y las entidades encargadas de combatir estas mismas, vamos a conocer el panorama actual en cuestión de recursos hídricos en Colombia.

## Acceso al agua potable

El acceso a agua potable es considerado como un derecho humano por la Asamblea General de la Naciones Unidas, de esta manera los gobiernos a través de las cumbres realizadas para la mitigación de la pobreza y el acceso al agua potable han adquirido el compromiso de proporcionar agua potable a las poblaciones más desfavorecidas en cuestión de acceso al agua potable y saneamiento.

**Figura 33. Agua potable**



Fuente: Fan del agua (2018).



La carencia de agua potable en sectores sociales poco favorecidos no solo es un problema de salud pública, sino también uno de pobreza, de modo que el objetivo de los gobiernos es brindar mayor cobertura en zonas donde las condiciones de acceso al agua potable y saneamiento son críticas.

Colombia no es un caso aislado, enfrenta desafíos a la hora de suministrar agua potable a las regiones donde hay tasas de escasez considerables, sumado a esto la llegada de la pandemia COVID-19 provocó limitaciones a los proveedores del servicio de acueducto a la hora de mantener la continuidad del abastecimiento de agua.

La pandemia COVID-19 ha originado una crisis económica en la población mundial, los colombianos afrontaron una disminución de los ingresos debido a factores económicos en el sector empresarial tales como: la disminución del personal, incorporación de jornadas laborales temporales y aumento de costo de los productos de la canasta familiar a causa la importación de los insumos químicos necesarios en la actividad agrícola. Todas estas circunstancias han generado que una parte razonable de la población no tenga la capacidad económica de pagar facturas para acceder al servicio de agua potable (Findeter, 2021).

En las zonas rurales actualmente el país cuenta con una cobertura del 74 % de abastecimiento de agua potable, cifra que es desalentadora para las personas que habitan el campo, esto a causa de la falta de acueductos en zonas rurales, en este caso los proveedores del servicio de agua no han logrado cerrar esa brecha en las poblaciones rurales y el abastecimiento de agua potable no es continuo.

Ahora bien, en las zonas urbanas alrededor del 90 % de la población tiene acceso continuo al servicio de agua potable, cifra que ha aumentado comparada con el porcentaje de personas que contaban con servicio de acueducto en el año 2005, donde el 81 % de los habitantes en zonas urbanas contaban con acceso a agua potable, sin embargo, el gobierno nacional precisa mayor esfuerzo en cuestiones de abastecimiento de agua potable, esto debido a que en diversidad de municipios no se cuenta con acceso agua potable en lo absoluto. Los departamentos con mayor presencia de municipios carentes de agua potable son: la Guajira, Magdalena, Chicó, Cauca, Guainía y Amazonas (Carrasco Mantilla, 2016).

## **Acceso al sistema de saneamiento básico**

Anteriormente los asentamientos no contaban con sistemas de alcantarillado que recogieran las aguas residuales para transportarlas y conducir las hacia las plantas de tratamiento. Esto ocasionaba que comúnmente las aguas residuales tuvieran contacto directo con los sistemas de acueducto y por tal terminaran contaminando el agua para el consumo humano.

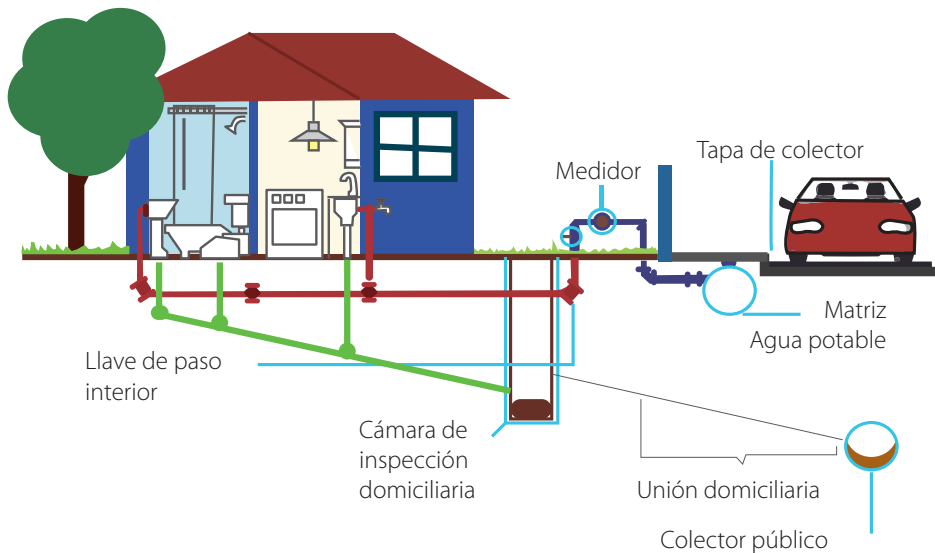
El saneamiento básico es un aspecto de gran importancia en cuestiones de salubridad pública, estos sistemas evitan la propagación de enfermedades causadas por la falta de higiene presente en las aguas residuales.

Los sistemas de saneamiento básico implementados tienen como finalidad de realizar un manejo pertinente y seguro de los desechos sólidos y aguas residuales producidas por el metabolismo humano, en este caso las excretas generadas por el ser humano son la fuente mayor de contaminación en el hogar que pueden producir patógenos, virus y bacterias altamente riesgosas para el ser humano (MinHacienda, s. f.).

En Colombia el gobierno nacional, en aras de mejorar las condiciones de saneamiento básico presente en la población, ha optado por implementar sistemas de saneamiento tales como; alcantarillado sanitario, sistemas sépticos y letrinas (Findeter, 2017).

- » Alcantarillado sanitario: este sistema de saneamiento es el más común en zonas urbanas, consta de una distribución de tuberías que tienen como función el drenaje de desechos fisiológicos ocasionados por el hombre, así mismo las aguas residuales generadas por la higiene personal van incluidas dentro de la materia que se evacua de los hogares para garantizar y preservar el bienestar familiar en términos de salud.

**Figura 34. Alcantarillado**



Fuente: Incosuro (s. f.).

- » **Sistemas sépticos:** este sistema de saneamiento es implementado en las zonas con poca accesibilidad al sistema de alcantarillado (muy común en zonas rurales), en este caso se usan los pozos sépticos para realizar el desagüe de los desechos domiciliarios producidos.
- » Los pozos sépticos son fosas de almacenamiento que deben contener por un tiempo establecido las aguas residuales y excrementos humanos, de manera que estos se mantengan alejados del agua y eviten contacto directo para brindar salud pública a la población en general.

**Figura 35. Fosa séptica**



Fuente: Buscatuchoza (2021).

- » **Letrinas:** se implementa en zonas donde no es posible la puesta en funcionamiento de los dos sistemas de saneamiento anteriores, ya sea por la ausencia de cobertura de alcantarillado en la zona, o por incapacidad del suelo para soportar desechos sólidos y aguas residuales, lo que invalida inmediatamente la construcción de un pozo séptico, de modo que la opción más viable es la construcción de letrinas para el saneamiento básico en estas regiones.

**Figura 36. Letrina**

Fuente: F. Zarza (s.f).

Una vez conocemos los sistemas de saneamiento más utilizados en Colombia, es necesario saber el porcentaje de acceso a estos servicios de saneamiento básico.

En las zonas urbanas el porcentaje de acceso a saneamiento básico para la población es de aproximadamente 84 %, seguidamente, las zonas rurales cuentan con 66 % de acceso a servicios de saneamiento básico. Estas cifras nos demuestran la brecha presente entre regiones, es decir, los proveedores de servicios de saneamiento básico no tienen un alcance aceptable para las zonas rurales.

En este orden de ideas, se demuestra una vez más que el gobierno nacional debe incrementar sus esfuerzos por garantizar el derecho a saneamiento básico en zonas rurales, ya que estas son las menos favorecidas y, por tanto, las que requieren de mayor inversión para prevenir la propagación de enfermedades a causa de la falta de condiciones dignas y seguras de salubridad.

Así mismo, el porcentaje restante de población que no cuenta con servicios de saneamiento básico muy seguramente se vea en la obligación de realizar sus necesidades fisiológicas a la intemperie, lo que termina afectando en su mayoría a los ríos tras recibir directa o indirectamente estos desechos sólidos, los cuales

afectan las propiedades del agua, invalidando inmediatamente su uso para consumo humano (OMS & Unicef, 2016).

## Aspectos medioambientales

En Colombia los páramos son los ecosistemas hídricos más representativos, estos ayudan a la regulación y limpieza de los recursos naturales, garantizando la conservación del *equilibrio ecológico*. Colombia es el hogar del 50 % de los páramos en el mundo, albergando al paramos más grande del mundo conocido como “El páramo de Sumapaz” (Pontificia Universidad Javeriana, 2020).

Los páramos aportan el 70 % del agua potable del país, estos proveen el agua para consumo humano de cientos de municipios en el país, alcanzando 12 de los 32 departamentos existentes en el país. El macizo colombiano es el cuerpo hídrico más importante de Colombia, este contiene 360 lagunas y en él nacen los cinco ríos más importantes del país. En este sentido, la conservación de los páramos en Colombia debe considerarse un aspecto de gran magnitud para la sostenibilidad ambiental.

**Figura 37. Páramo de Sumapaz**



Fuente: Piñeros Benítez (2017).

Lastimosamente, los páramos en las últimas décadas se han visto afectados por actividades como la *minería ilegal*, los cultivos agrícolas y la ganadería en zonas no permitidas. Estas actividades junto con el *cambio climático* se han encargado de alterar las propiedades ecológicas de los páramos, provocando en muchos casos la extinción de estos recursos naturales.

Ahora bien, los páramos en Colombia están en peligro de extinción, pero ese no es el único inconveniente, gran parte de la población que habita el país se abastece de agua potable proveniente de los páramos, es decir, nosotros como especie también estamos en riesgo al no garantizar la prevalencia del equilibrio ecológico para las fuentes de hídricas.

De ahí que es sumamente importante que el Ministerio de Ambiente y desarrollo junto con la Organización de las Naciones Unidas y las entidades de conservación ambiental desarrollen estrategias para la conservación y protección de estos recursos ambientales para combatir el cambio climático y las actividades que pueden alterar el equilibrio ambiental para estos ecosistemas (Del macizo, 2017).

### **Vertientes hidrográficas**

La distribución hidrográfica de Colombia se basa en grandes unidades de ríos que drenan las aguas hacia un mismo destino, este puede ser hacia el mar, un lago u otro río. Debido al accidentado relieve presente en Colombia, los ríos fluyen en diferentes direcciones: hacia el Caribe, hacia el Pacífico, hacia las llanuras orientales, hacia la Amazonía y Orinoquía, es ahí donde se forman las vertientes.

En Colombia existen cinco vertientes de agua principales:

- » **Vertiente del Caribe:** es la de mayor extensión e importancia en términos de desarrollo económico, esto debido a que en torno a los ríos que contiene hay variedad de intercambio entre regiones para el país, su principal río es el Magdalena que cuenta con afluencias de los ríos Cauca, Lebrija, Bogotá, Sogamoso, Cesar y San Juan, su extensión es de 363.878 km<sup>2</sup> (Blanco-Muñoz *et al.*, 2020).
- » **Vertiente del Pacífico:** está constituida por alrededor de 200 ríos de corta longitud, pero caudalosos, a esta vertiente pertenecen los ríos Mira, Patía, Baudó, Mataje y San Juan, su extensión es de 76.852 km<sup>2</sup> (Betancur & Salinas, 2005).
- » **Vertiente del Orinoco:** la mayor parte de los ríos presentes en esta Vertiente nacen la cordillera oriental, y generan altas inundaciones en las llanuras aledañas. El río Orinoco es el más importante para esta cuenca, aportando una extensión de 250 km, delimitando con el país de Venezuela, así mismo está comprendida por ríos como Arauca, Meta, Inírida, Casanare, Vichada y Guaviare (Henao-Cárdenas, 2018).

- » **Vertiente del Amazonas:** esta vertiente se caracteriza por contener el río más largo y caudaloso del mundo, el río Amazonas, que alcanza una longitud de 6.800 metros pasando por Colombia, Ecuador, Perú y Brasil. A Colombia le pertenecen 116 km de este río y algunos de los ríos que forman la cuenca de este mismo son: Negro, Vaupés, Caquetá Putumayo y Guainía (Jaramillo & Chaves, 2000).
- » **Vertiente del Catatumbo:** esta es la vertiente de menor extensión, los ríos que contiene recorren una pequeña porción del territorio colombiano, su principal río es el Catatumbo, el cual se origina en Colombia, pero desemboca en Venezuela. Algunos de los ríos que conforman la cuenca de este río son: Táchira, Zulia, Sardinata, Cucutilla, Río de Oro y Tarra (López & de Campos, 2004).

**Figura 38. Vertientes hidrográficas de Colombia**



Fuente: Toda Colombia (2019).

## ***Calidad del agua en Colombia***

Es cierto que Colombia cuenta con una generosa oferta hídrica, como ya lo abordamos anteriormente, este país dispone de páramos, manantiales, ríos, mares, bosques tropicales y grandes extensiones de áreas acuáticas. Sin embargo, en cuestiones de calidad del agua, Colombia no está muy bien situada, se afirma que aproximadamente el 50 % de los recursos hídricos disponibles en Colombia no son aptos para el uso y consumo cotidiano por sus precarias condiciones de calidad.

Sumado a los problemas de escasez en varias zonas del país, las ineficiencias en los sistemas de distribución y la poca accesibilidad que tienen ciertas regiones por su ubicación remota, la calidad del agua se ha convertido en un aspecto preocupante, esto debido a que en Colombia la capacidad de tratamiento y purificación de agua para consumo humano no cubre ni la mitad de la población que demanda agua potable, es decir, en Colombia solo el 47 % de las aguas residuales producidas por las actividades domésticas, industriales, agrícolas, agropecuarias y comerciales son sometidas a procesos de tratamiento y purificación (RDS, 2014).

**Figura 39. Calidad del agua**



Fuente: AGQ Labs (s. f).

En la siguiente Tabla se ilustran los problemas de contaminación más significativos en los recursos hídricos de Colombia, en ella se describe cómo se manifiestan los problemas de contaminación, su interferencia en el uso adecuado, su causa principal y las variables que lo ocasionan.



**Tabla 2. Problemas de contaminación, sus efectos y variables asociadas con la calidad del agua**

| Manifestación del problema  | Interferencia  | Problema   | Variables que considerar  |
|---|--|--|---|
| 1. -Cambio radical en el ecosistema<br>-Mortalidad de peces<br>-Organismos desagradable<br>-Olores molestos   | Pesca, recreación, salud ecológica                   | Oxígeno disuelto bajo                            | Demanda bioquímica de oxígeno<br>sólidos orgánicos<br>fitoplancton oxígeno disuelto |
| 2. -Transmisión de enfermedades<br>-Trastornos gastro-intestinales, irritación de ojos  | Abastecimiento de agua recreación                    | Altos niveles de Bacterias                       | Coliforme Totales<br>Coliformes fecales<br>Estreptococos Virus                      |
| 3. -Disturbios en el ecosistema<br>-Sabor y olor<br>-Problemas estéticos algas en exceso<br>-Algas azul-verde   | Abastecimiento de agua Recreación<br>Salud ecológica | Crecimiento en exceso de plantas (eutroficación) | Nitrógeno Fósforo<br>Fitoplancton   |
| 4. -Cancerígenos en el agua potable<br>-Pesca cerrada<br>-Niveles altos de toxicidad<br>-Ecosistemas alterados; altos niveles de mortalidad e impedimento de reproducción | Abastecimiento de agua pesca salud ecológica         | Altos niveles de toxicidad                       | Metales pesados<br>Sustancias radioactivas<br>Plaguicidas Herbicidas                |

Fuente: Sierra Ramírez (2011).

## Caso Norte de Santander

En el departamento de Norte de Santander la gestión de los recursos hídricos está a cargo de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR), esta corporación viene adelantando estrategias ambientales para la protección y conservación de las principales fuentes hídricas de la región, en este caso la vertiente presente en Norte de Santander es la vertiente del Catatumbo.

El plan de trabajo que ha venido implementando CORPONOR se ha ejecutado en seis cuencas que conforman la vertiente del Catatumbo, tales como los ríos Chitagá, Pamplonita, Cáchira, Lebrija Medio y Algodonal. Este proyecto para el manejo adecuado y sostenible de los recursos hídricos se basa en realizar el cumplimiento del plan de ordenamiento territorial y manejo de cuencas hídricas, este tiene como fin la planificación, modelación, protección y tratamiento de los ríos ya mencionados.

Figura 40. Hidrografía Norte de Santander



Fuente: Toda Colombia (s. f).

Por otra parte, dentro del plan de ordenamiento territorial se encuentra la adquisición de terrenos destinados a servir como zonas de recarga de agua para abastecer los acueductos municipales, es decir, el proyecto tiene como objetivo aumentar la capacidad hídrica del acueducto para tener más alcance en la población y garantizar que el derecho al agua potable sea gozado por todos los habitantes del departamento.

Ahora bien, en cuestión de protección y conservación CORPONOR ha declarado 54 mil hectáreas como Parques Naturales Regionales y como zonas protegidas, en este caso en la región de Santander y Norte de Santander el páramo presente es el de Santurbán, un complejo con un tamaño aproximado de 150.000 hectáreas (Corponor, 2015).



## CAPÍTULO 5

# POLÍTICAS Y GOBERNANZAS DEL AGUA

Para garantizar un uso y gestión sustentable y sostenible de los recursos hídricos la Organización de la Naciones Unidas ha declarado unos objetivos de desarrollo sostenible, dentro del que se encuentra el agua limpia y saneamiento básico.

El objetivo de agua limpia y saneamiento declarado por la ONU en el año 2015 tiene por finalidad garantizar el acceso al servicio de agua y saneamiento para proporcionar salubridad pública a la población, este mismo compromiso fue aceptado como parte de la agenda de desarrollo sostenible que busca alcanzar otros 16 objetivos planteados en un plazo de 15 años, es decir, todos los países pertenecientes a la ONU se comprometieron a alcanzar estos objetivos para el año 2030.

Para alcanzar todos los objetivos planteados en el tiempo estipulado, la ONU ha definido unas políticas y gobernanzas para el manejo de los recursos hídricos y el abastecimiento para la población. Estos lineamientos deben ser acatados por los países que conforman la ONU, claramente Colombia es un miembro de esta organización y por ende ha implementado estas estrategias en su plan de desarrollo ambiental y sostenible (ONU, s. f.).

La finalidad de las políticas de gestión del agua obedece a fortalecer y encaminar los compromisos adquiridos por los gobiernos, sus pilares más importantes son:

- » La prestación de servicios públicos de calidad
- » Abastecimiento de agua potable para toda la población
- » Mejoramiento de infraestructuras para la distribución del agua y el saneamiento básico
- » Implementación del tratamiento de aguas residuales
- » Fortalecimiento de la cultura del agua en la población

## **Normativas internacionales y nacionales**

Las presiones existentes en el mundo entero a causa de la crisis ambiental que se avecina han causado que sectores públicos y privados implementen medidas de prevención, conservación y uso sostenible del agua.

Expertos afirman que alrededor del año 2050 el 40 % de la población afrontará estrés hídrico, es decir, la oferta disponible de agua será significativamente menor que la demanda de esta, de igual modo, se cree que la demanda del agua aumentará en un 50 %.

El sector del agua es un sector fragmentado que tiene participación de diferentes personas, entidades (públicas y privadas), sectores sociales, lugares y escalas geográficas, de manera que las políticas del agua requieren implementar inversiones de capital, delegar responsabilidades y hacer frente a los desafíos que vienen en materia de sostenibilidad.

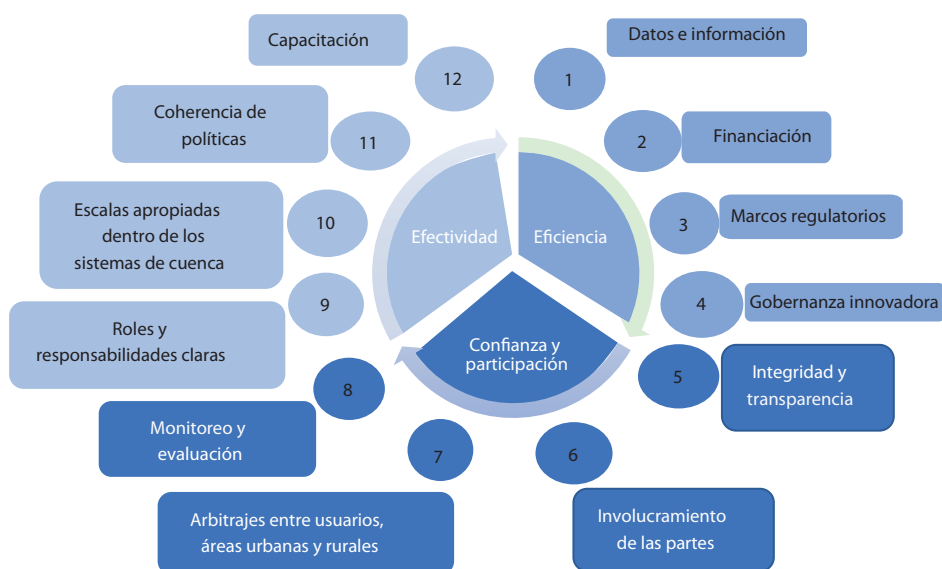
Las políticas del agua se resumen en establecer *qué hacer, cómo hacerlo, quién lo va a hacer y por qué se va a hacer*, de este modo las instituciones ambientales son las encargadas de adaptarse a las políticas del manejo de agua y ejecutarlas para generar planes de desarrollo sostenibles y ecológicos.

La gobernanza del agua goza de unos principios para contrarrestar los desafíos actuales y nacientes, de forma que las políticas públicas necesitan ser consistentes encaminadas a lograr objetivos medibles, en un determinado periodo de tiempo y con unas delimitaciones de alcance.

Los principios de gobernanza del agua tienen como fin colaborar con el desarrollo de políticas públicas del agua que se puedan dimensionar de acuerdo con los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, estos principios se dividen en tres aspectos:

- » Eficiencia: este principio se basa en la optimización de los recursos, el gobierno debe maximizar los beneficios adquiridos por medio de las políticas, pero así mismo reducir el costo de operación.
- » Confianza y participación: la participación de la población en cualquier entidad gubernamental es indispensable para conocer los requerimientos y necesidades de la ciudadanía, es por esto por lo que el gobierno debe generar confianza y asegurar la inclusión de la sociedad para la implementación las políticas del agua.
- » Efectividad: la definición concisa de las metas que se desean alcanzar es esencial para un alcance efectivo; una vez todos los órdenes gubernamentales dan por entendido los objetivos para el manejo sustentable, se deben poner en marcha los planes de gobierno para alcanzar estos objetivos.

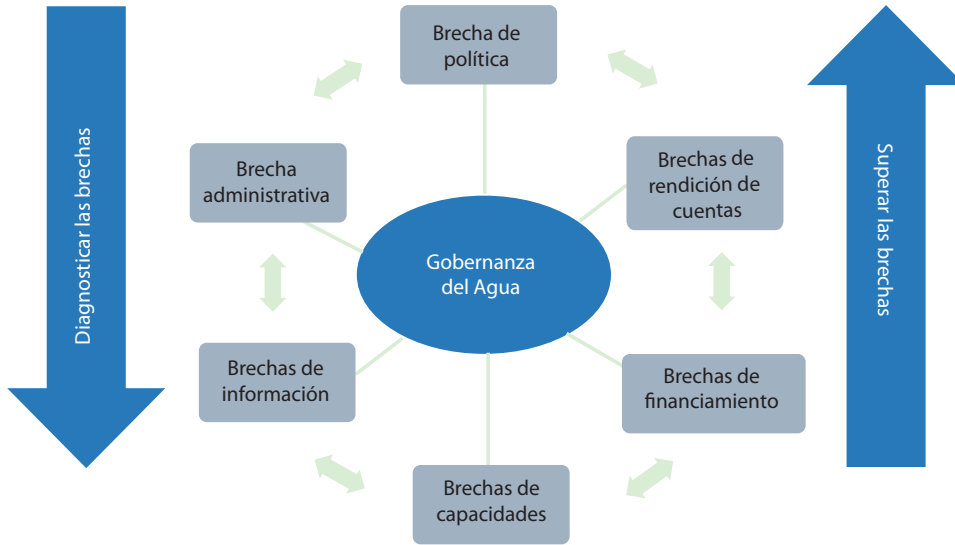
**Figura 41. Visión general de los principios de gobernanza del agua**



Fuente: OCDE (2015).

De igual modo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha formulado un marco de gobernanza como instrumento sobre buenas prácticas de política del agua, que sirve como marco de referencia a la hora de diseñar, implementar y evaluar cualquier estrategia para contrarrestar las brechas en el manejo del agua (OCDE, 2015).

Figura 42. Marco de gobernanza del agua



Fuente: (OCDE, 2015).

Este marco de referencia para la gobernanza del agua nos describe que todos los países necesitan políticas del agua de acuerdo a sus necesidades y a las brechas existentes en sus sistemas de manejo del agua, así mismo, se evidencia que hay posibilidad de implementar diversas soluciones para los problemas existentes del agua, de modo que es tarea de cada país diagnosticar las brechas y obstáculos presentes en su sistema de gestión hídrica para lograr superarlas y brindar seguridad del agua a la población.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo inició el planteamiento de directrices para ejecutar el manejo del agua en el territorio nacional, estos lineamientos permiten un uso medido, responsable y equitativo del recurso hídrico.

El manejo y gestión de los recursos hídricos se realiza con base en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, esta misma establece los objetivos, indicadores, líneas de acción y estrategias para el manejo del agua en el país.

La política nacional para la gestión integral del recurso hídrico fue elaborada en finales del año 2009 y tiene un horizonte aplicable de 12 años, es decir, para finales del año 2022 esta política pública caduca y, por ende, debe ser renovada y actualizada para determinar los objetivos alcanzados, los objetivos en ejecución y los objetivos no alcanzados.

En este documento, el agua se toma como un bien natural de uso público, y por ello se establecen las funciones que deben ejercer las entidades regionales ambientales para garantizar el goce del agua de manera segura.

Las funciones más relevantes en el manejo del agua son las siguientes:

- » Implementar actividades de evaluación, control y seguimiento ambiental en el uso del agua.
- » Determinar, establecer e implementar las normas, directrices y líneas de acción para el manejo de cuerpos hídricos tanto de agua dulce como oceánicos.
- » Establecer los límites máximos de vertimiento y descargas.
- » Llevar a cabo el rol de autoridad ambiental, asegurando el cumplimiento de todas las normativas ambientales, planes de gobierno y programas de remediación ambiental.
- » Conceder permisos ambientales, concesiones y zonas de explotación a las zonas mineras.
- » Recaudar las contribuciones ambientales ejercidas por las empresas explotadoras, así como las tarifas, infracciones y aprovechamiento del agua.
- » Fomentar actividades que hagan frente a la contaminación ambiental que pueda afectar el equilibrio ecológico de los ecosistemas.
- » Velar por el abastecimiento eficaz y seguro de agua potable para las poblaciones menos favorecidas.
- » Incentivar la cultura ambiental en la ciudadanía, generando participación y programas sociales para la protección y preservación de los recursos naturales.
- » Determinar las actividades causales de infracción, ya sea monetaria o judicial.

Para que las funciones anteriormente mencionadas sean aplicables a la gobernabilidad del agua también se debe tener en cuenta la aceptación social, económica y cultural, por tanto, las políticas del manejo del agua deben ser diseñadas para tener un impacto positivo, de manera que el desarrollo hídrico se efectúe en conjunto (Programa Nacional de Cultura Del Agua Participación y Transformación de Conflictos Asociados al Recurso Hídrico, 2018).



En términos de aplicabilidad, las políticas hídricas deben cumplir con tres consideraciones altamente relevantes:

- » El grado de aceptación social
- » El diseño de normativas hídricas que tomen acuerde la aplicabilidad colectiva.
- » Disponibilidad de infraestructura en los sistemas de gestión para hacer posible la ejecución efectiva en términos de sostenibilidad y aceptación.

## Aspectos sociales

El acceso al agua potable y saneamiento básico tiene un alto impacto en la sociedad, este derecho no solo tiene incidencia en la salud pública sino que también tiene una relación continua con sectores como la agricultura, la ganadería, la industria y los ecosistemas bióticos donde hay presencia de flora y fauna, esto a razón de que no hay posibilidad alguna de sustituir el agua por otra sustancia, el agua es ese líquido fundamental que sostiene la vida en la sociedad y así como la constitución política de Colombia defiende el derecho a la vida, indirectamente también está defendiendo el derecho al acceso al agua. Por otra parte, actividades como la recreación y el turismo también dependen del agua (parques acuáticos).

De ahí que las condiciones de pobreza presentes en la sociedad no solo involucran los ingresos monetarios sino también la poca capacidad de adquisición de productos y servicios, en este caso la privación del acceso al agua es uno de ellos, en Colombia a las personas les falta el agua porque son pobres.

De esta manera, en Colombia, el abastecimiento de agua para la población tiene repercusión social y económica, debido a que independientemente de la necesidad del agua para la supervivencia, también se necesita para el desarrollo productivo haciendo frente a la pobreza y proporcionando bienestar social (Díaz-Pulido *et al.*, 2009).

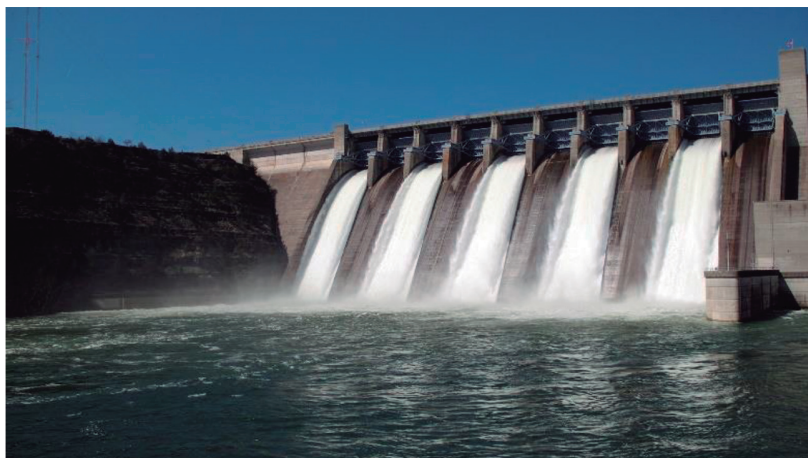
## Aspectos económicos

El agua es considerada como un recurso natural indispensable para el desarrollo de la vida en la sociedad y como un bien económico para el desarrollo productivo. Según las políticas de gobernanza, el agua debe distribuirse equitativamente en los sectores productivos y sociales a fin de satisfacer sus necesidades (Correa Assmus, 2017).

La importancia del agua en actividades económicas está relacionada con los siguientes sectores:

- » **Producción energética:** una de las actividades económicas que se llevan a cabo gracias a la disponibilidad del agua es la producción energética, alrededor del 65 % de la energía que se genera en el país proviene de las hidroeléctricas, de ahí que en Colombia la principal fuente de energía sea el *agua*, naturalmente debido a la presencia de vertientes de agua en todo el territorio nacional.

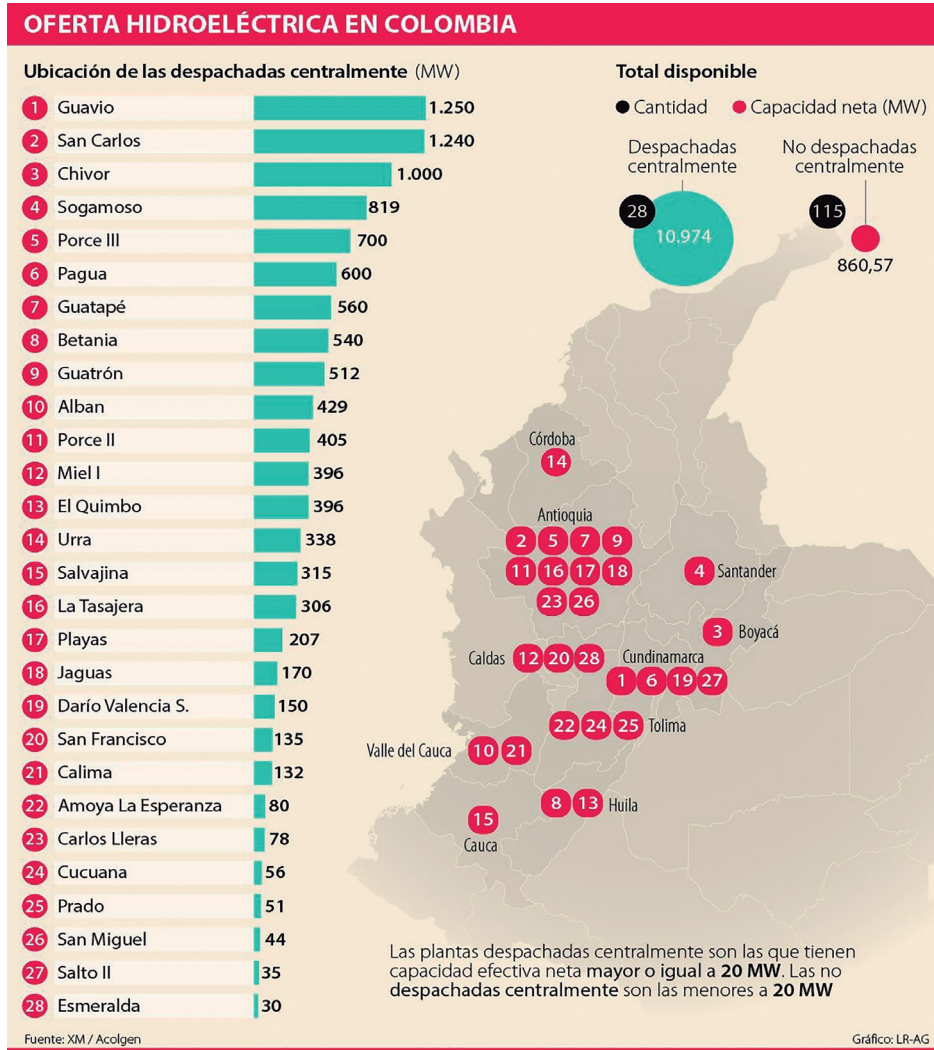
**Figura 43. Central hidroeléctrica**



Fuente: Obcipol, s. f.

En Colombia, actualmente, se encuentran 28 centrales hidroeléctricas en funcionamiento; el siguiente mapa describe su ubicación y capacidad neta de generación eléctrica.

Figura 44. Oferta hidroeléctrica en Colombia



Fuente: Montes (2019).

- » Actividades agropecuarias: el agua sirve como principal insumo para sectores productivos como el agropecuario, en el que se encuentran los alimentos necesarios para el consumo humano, y gracias al agua se pueden ejercer actividades de riego, aplicación de pesticidas y fertilizantes.
- » Asimismo, el sector ganadero en Colombia aporta un 3,6 % del producto interno bruto (PIB), una actividad que depende significativamente del agua junto con todo el sector pecuario. Todos los animales y organismos requieren de agua para su buena nutrición y alimentación, de modo que en este sector el recurso hídrico también tiene incidencia directa.

- » Actividades industriales: el agua juega un papel muy importante en este sector, sirve como recurso para el procesamiento y funcionamiento de la materia prima, las fases de recolección, tratamiento, limpieza y entrega de los productos finales requieren de agua para su puesta en marcha.

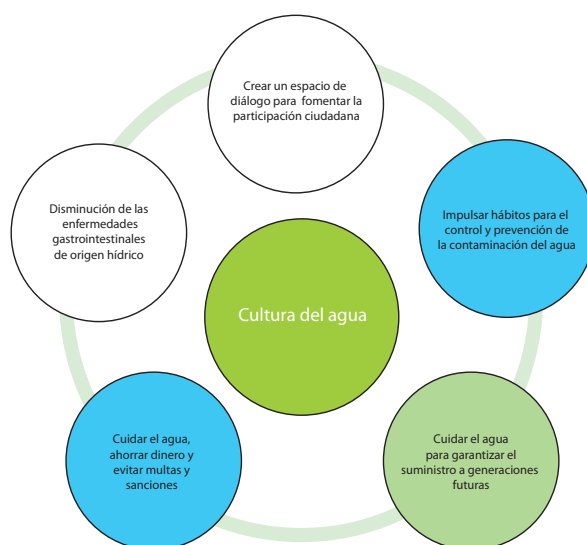
## Aspectos culturales

La cultura se define como el patrimonio de un pueblo, depende de las creencias, costumbres y hábitos presentes en la región, puede ser permanente o dinámica. Transversalmente, la cultura del agua se refiere a los modos de uso y los medios implementados para la satisfacción de las necesidades relacionadas con el agua, que se manifiesta con los valores, normas y organizaciones presentes en el uso del agua. A causa del estrés hídrico se pueden presentar conflictos por el agua, por ello la ciudadanía, por medio de la cultura, efectúa una administración colectiva, responsable y mesurada de este recurso.

En Colombia el gobierno nacional ha venido implementando programas sociales de educación y culturización del agua, los cuales tienen como finalidad incentivar la participación ciudadana en el manejo de los recursos hídricos y promover a la población a hacer un uso consciente para conservar y proteger los recursos hídricos.

El acercamiento con la ciudadanía es un aspecto muy importante a la hora de generar cambios sociales, por ende, con los talleres de socialización, se ha propuesto concebir la cultura del agua como una construcción social que refleja la transmisión de creencias, hábitos de vida y valores que fomenten un desarrollo hídrico sostenible.

**Figura 45. Cultura del agua**



Fuente: Jumapam (s. f).



## BIBLIOGRAFÍA

- AGQ Labs. (s. f.). *La calidad del agua y su importancia*. <https://agqlabs.es/tienda/2020/09/02/la-calidad-del-agua-y-su-importancia/>
- Allan, J. A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground Water*, 36(4), 545-547.
- ANFNEWS. (2021). África se ha convertido en el nuevo bastión del ISIS. <https://anfspanol.com/noticias/Africa-se-ha-convertido-en-el-nuevo-bastion-del-isis-27043>
- Quintero-Espinosa, I. A. y Mejía Zermeño, R. (2006). *El concepto de ecohidrología*. [https://www.researchgate.net/publication/273760370\\_ecohidrologia](https://www.researchgate.net/publication/273760370_ecohidrologia)
- Balvanera, P. y Cotler, H. (2011). *Los servicios ecosistémicos*. <https://www.uv.mx/personal/asuarez/files/2011/01/servicios-ecosistemicos.pdf>
- Banco Mundial. (2017). *Gestión de los recursos hídricos*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/waterresourcesmanagement>
- Banco Mundial. (2020). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>
- Betancur, J. y Salinas, N. R. (2005). *Las ericáceas de la vertiente pacífica de Nariño, Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Blanco-Muñoz, E., de la Parra-Guerra, A. C., García-Álzate, C. y Villarreal-Blanco, E. (2020). Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica* 15(2), 114-125.

- Bolívar Pedraza, W. (2021). *Planta de tratamiento de aguas residuales en Villapinzon* [tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Militar Nueva Granada]. [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40103/BolivarPedrazaWilliam\\_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40103/BolivarPedrazaWilliam_2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Buscatuchoza. (2021). *Cómo construir una fosa séptica paso a paso* [entrada de Blog]. <https://blog.buscatuchoza.com/como-construir-una-fosa-septica/>
- Calmatters. (2021). *California necesita una gestión integral del agua subterránea* [entrada de Blog]. <https://calmatters.org/calmatters-en-espanol/2021/04/california-necesita-manejo-integral-de-aguas-subterraneas/>
- Canaza-Choque, F. A. (2019). De la educación ambiental al desarrollo sostenible: desafíos y tensiones en los tiempos del cambio climático. *Revista de Ciencias Sociales*, 165, 155-172.
- Carrasco Mantilla, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 44, 46-54. <https://doi.org/10.16924/revinge.44.7>
- Cervantes, I. S., Sánchez, J. A., Delgadillo, L. F. y Martínez, J. R. A. (1999). Estudio morfológico de algunos suelos de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 16(1), 5.
- Cevallos Rodríguez, E. y Reyes Clavijo, M. (2021). *El cambio climático y amenazas socioeconómicas, una realidad que hay que enfrentar*. Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11073>
- Cinco Noticias. (2022). *Países con clima tropical: los 30 países con mejor clima del mundo*. <https://www.cinconoticias.com/paises-con-clima-tropical/>
- Corantioquia. (s. f.). *Programa Producción y Consumo Sostenible*. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/paginas/consumo-sostenible/gestion-del-recurso-hidrico.aspx>
- Corponor. (2015). *El agua en norte de Santander, acciones para conservarla*. <https://corponor.gov.co/web/index.php/2015/03/20/el-agua-en-norte-de-santander-acciones-para-conservarla/>
- Correa Assmus, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de la Universidad de La Salle*, (72), 27-46.
- Damonte, G., Ulloa, A., Quiroga, C. y López, A. (2022). La apuesta por la infraestructura: Inversión pública y la reproducción de la escasez hídrica en contextos de gran minería en Perú y Colombia. *Estudios Atacameños*, 68, e4208.
- de Beauregard, A-C. G., Torres, G. & Malaisse, F. (2002). Ecohydrology: a new paradigm for bioengineers? *BASE*, 6(1), 17-27.
- Del macizo. (2017). *El camino del macizo* <http://fundaciondelmacizo.org/2019/02/el-camino-del-macizo-colombiano>
- Díaz-Pulido, A. P., Chingaté-Hernández, N., Muñoz-Moreno, D. P., Olaya-González, W. R., Perilla-Castro, C., Sánchez-Ojeda, F. y Sánchez-González, K. (2009).

- Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Estudios Socio-Jurídicos*, 11(1), 84-116.
- Dourojeanni, A. (2010). Los desafíos de la gestión integrada de cuencas y recursos hídricos en América Latina y el Caribe. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 3(8), 1.
- Ekos. (2021). *Día Mundial del Agua: reivindicar el valor de lo imprescindible*. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/dia-mundial-del-agua-reivindicar-el-valor-de-lo-imprescindible>
- El Ágora. (2022). *España necesita una gobernanza del agua innovadora*. <https://www.elagoradiario.com/agua/espana-necesita-gobernanza-agua-innovadora/>
- Enrique Arriols. (2018). *Qué es el clima tropical y sus características*. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-clima-tropical-y-sus-caracteristicas-1434.html>
- Esta es la historia. (2019). *Río San Lorenzo: ubicación, afluentes y todo lo que necesita saber*. <https://estaeslahistoria.com/c-estados-unidos/rio-san-lorenzo/>
- F. Zarza, L. (s. f.). ¿Qué es una letrina? <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-letrina>
- Fan del agua. (2018). *Top 5 características del agua potable*. <https://fandelagua.com/top-5-caracteristicas-del-agua-potable/>
- Findeter. (2017). *Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico*. [https://repositorio.findeter.gov.co/bitstream/handle/123456789/9600/Informe%20de%20agua\\_11agosto2017NMV.PDF?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.findeter.gov.co/bitstream/handle/123456789/9600/Informe%20de%20agua_11agosto2017NMV.PDF?sequence=1&isAllowed=y)
- Findeter. (2021). *Estudio del sector agua potable y saneamiento básico colombiano*. <https://repositorio.findeter.gov.co/bitstream/handle/123456789/9703/%284%29%20ESTUDIO%20SECTORIAL%20apysb%20.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Fluence. (2021). *La sequía disminuye no sólo la cantidad de agua, sino la calidad*. <https://www.fluencecorp.com/es/sequia-disminuye-cantidad-y-calidad-agua/>
- Gerstle, J. (2019). *El Pantanal: la gente y los jaguares*. <https://endemico.org/pantanal-la-gente-los-jaguares/>
- Henao-Cárdenas, M. M. (2018). Riqueza florística y recambio de especies en la vertiente orinoquense de los Andes, Colombia. *Colombia Forestal*, 21(1), 18-33.
- Hídricos, R. (2020). *Agua y Cambio Climático*. UNESCO.
- Hoekstra, A. Y. & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237.
- Incosuro. (s. f.). *Ingeniería sanitaria*. <https://www.incosuro.cl/ingenieria/>
- Jaramillo, A. y Chaves, B. (2000). Distribución de la precipitación en Colombia analizada mediante conglomeración estadística. *Cenicafe*, 51(2), 102-113.
- Jumapam. (s. f.). ¿Qué es Cultura del Agua? <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/que-es-cultura-del-agua/>



- Venegas Loaiza, A. (2018, 16 de marzo). Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. *La República*. <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-48-2-de-los-municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155>
- Montes, S. (2019, 19 de febrero). Las plantas hidroeléctricas representan 68% de la oferta energética en Colombia. <https://www.larepublica.co/especiales/efecto-hidroituango/las-plantas-hidroelectricas-representan-68-de-la-oferta-energetica-en-colombia-2829562>
- López, D. M. V. y de Campos, M. H. R. (2004). Estudio taxonómico de las especies del género *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: decápoda: Palaemonidae) en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 9(2), 122-123.
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. (2019). Ecohidrología-Ecohidráulica: claves para la gestión integrada de los recursos hídricos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 95-109.
- Martínez Valdés, Y. y Villalejo García, V. M. (2020). Caudal ambiental: herramienta ecohidrológica en la gestión de los recursos hídricos. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 56-70.
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), e1500323.
- Merlinsky, G., Martín, F. y Tobias, M. A. (2020). Presentación del Dossier# 13: Hacia la conformación de una Ecología Política del Agua en América Latina. Enfoques y agendas de investigación. *Quid 16: Revista Del Área de Estudios Urbanos*, 13, 1-11.
- Mi sistema solar. (2018). *Cuenca hidrográfica: ¿Qué es?, tipos, importancia y mucho más*. <https://misistemasolar.com/cuenca-hidrografica/>
- MinAmbiente y Desarrollo Sostenible. (s. f.). *Corporaciones autónomas regionales*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2067>
- MinHacienda. (s. f.). *Agua potable y saneamiento básico*. [ages\\_SGP/monitoreoyseguimientodelsgp/Seguimiento/aguapotableysaneamientobsico](https://ages_SGP/monitoreoyseguimientodelsgp/Seguimiento/aguapotableysaneamientobsico)
- Morales-Hernández, J. (1992). La diversidad agropecuaria y el enfoque de sistemas de producción. *Renglones*, 22, 26-30.
- Lourdes Zimmermann, M. (s. f.). *Corales “estresados” prosperan gracias a manglares*. <https://www.naturalpress.ca/los-corales-estresados-prosperan-gracias-a-los-manglares/>
- Obcopol. (s. f.). Construcción de edificios de hidroeléctricas en Colombia [Blog]. <http://www.obcopol.com/project/construccion-de-edificios-de-hidroelectricas-en-colombia/>
- OMS y Unicef. (2016). *Panorámica de los progresos en saneamiento en Colombia entre 1990 y 2015* [en línea]. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/colombia\\_es.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/colombia_es.pdf)

- ONU. (2005). *Ecosystems and Their Services* [en línea]. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.300.aspx.pdf>
- ONU. (2015). *La incertidumbre de los recursos hídricos y sus riesgos frente al cambio climático: herramientas para los tomadores de decisiones de los sectores público y privado*. CEPAL. <https://www.bivica.org/file/view/id/4807>
- ONU. (s. f.). *Agua*. [https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=la%20asamblea%20reconoci%20el%20derecho,hogar\)%2c%20y%20accesible%20f%20c%20admicamente%20](https://www.un.org/es/global-issues/water#:~:text=la%20asamblea%20reconoci%20el%20derecho,hogar)%2c%20y%20accesible%20f%20c%20admicamente%20)
- Piñeros Benítez, K. (2017, 13 de julio). La mitad de los municipios que abarca el Páramo de Sumapaz se encuentra en consulta. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/conozca-el-numero-de-municipios-con-consultas-en-el-paramo-de-sumapaz-2525473>
- PNUD. (1994). *Informe sobre desarrollo humano*. <https://derechoalaconsulta.files.wordpress.com/2012/02/pnud-informe-1994-versic3b3n-integral.pdf>
- PNUD. (1998). *Informe para desarrollo humano*.
- Viceministro de Ambiente. (2010a). Política Nacional de Producción y Consumo. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/polit\\_nal\\_produccion\\_consumo\\_sostenible.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/polit_nal_produccion_consumo_sostenible.pdf)
- Viceministro de Ambiente. (2010b). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Politica-nacional-Gestion-integral-de-recurso-Hidrico-web.pdf>
- Pontificia Universidad Javeriana. (2020). El agua en Colombia: retos y desafíos para la gestión integral, conservación y usos del recurso hídrico. *Pesquisa* [en línea]. <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/el-agua-en-colombia-retos-y-desafios-para-la-gestion-integral-conservacion-y-usos-del-recurso-hidrico/>
- OCDE. (2015). *Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE* [en línea]. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-Water-spanish.pdf>
- Programa Nacional de Cultura del Agua Participación y Transformación de Conflictos asociados al Recurso Hídrico, (2018).
- RDS. (2014). *El 50% del agua en Colombia es de mala calidad* [en línea]. <https://rds.org.co/es/novedades/el-50-del-agua-en-colombia-es-de-mala-calidad#:~:text=Pese%20a%20que%20Colombia%20es,h%C3%ADricos%20tienen%20problemas%20de%20calidad>
- SENA. (s. f.). *Fontanería municipal* [en línea]. [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad\\_del\\_agua/fontaneria\\_municipal/fontaneria\\_municipal.html](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/fontaneria_municipal/fontaneria_municipal.html)
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico*. Universidad de Medellín. <http://hdl.handle.net/11407/2568>
- Toda Colombia. (2019). *Vertientes Hidrográficas de Colombia* [en línea]. <https://www.todacolombia.com/geografia-colombia/vertientes-colombia.html>

- Toda Colombia. (s. f.). *Hidrografía Departamento de Norte de Santander* [en línea]. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/norte-de-santander/hidrografia.html>
- Torres, A. P. (2000). *Caracterización hidrológica de cuencas tropicales: la cuenca del río san diego en la provincia de pinar del río (cuba)* [Tesis doctoral]. Universidad de Córdoba.
- UNESCO. (1992). *Informe del Consejo Intergubernamental del Programa Hidrológico Internacional sobre sus actividades (1992-1993)*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000095537\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000095537_spa)
- UNESCO. (2015). *La UNESCO Avanza La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. [https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/247785sp\\_1\\_1\\_1\\_compressed.pdf](https://es.unesco.org/creativity/sites/creativity/files/247785sp_1_1_1_compressed.pdf)
- UNESCO. (2019). *Informe Mundial de Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367304>
- USGS. (s. f.). *Edwards-Trinity aquifer system*. <https://www.usgs.gov/media/images/edwards-trinity-aquifer-system>
- van Hoof, B., Monroy, N. y Saer, A. (2018). *Producción más limpia: paradigma de gestión ambiental*. Universidad de los Andes.
- World Bank Group. (2021). *Towards resilient agricultura*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/875921614166983369/pdf/Water-in-Agriculture-Towards-Sustainable-Agriculture.pdf>
- Wright, C., Kagawa-Viviani, A., Gerlein-Safdi, C., Mosquera, G. M., Poca, M., Tseng, H. & Chun, K. P. (2018). Advancing ecohydrology in the changing tropics: Perspectives from early career scientists. *Ecohydrology*, 11(3), e1918. <https://doi.org/10.1002/eco.1918>
- WWAP, D. H. I. (2015). Water Policy, PNUMA-DHI, Centro para el Agua y el Medio Ambiente (2009). *Integrated Water Resources Management (IWRM) in Actions*.
- Xavier, R. A., Camargo, V. C., Cardoso, O. R. y Tassi, R. (2019). Eco-hidrologia integrada ao manejo dos recursos hídricos em áreas úmidas: caso do Banhado do Taim, RS. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 24, 187-197.
- Zalewski, M. (2002). Ecohydrology—The use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 823-832.
- Zalewski, M., Janauer, G. A. & Jolánkai, G. (1997). *Ecohydrology: a new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*. Unesco.



# GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN COLOMBIA

Esta obra abarca una importante temática a nivel internacional dentro de la cual se resalta el impacto que existe sobre los ecosistemas cuando estos no son gestionados correctamente. Al ser Colombia uno de los países más ricos en biodiversidad y recursos hídricos, este libro permite entender los diferentes principios de gobernanza del agua, así como evaluar la situación actual del país en materia de gestión de recursos hídricos.

El libro empieza con una breve introducción sobre la importancia de esta temática, continua con un análisis a nivel global de la gestión de este recurso, explica los conceptos relacionados a la ecohidrología, clasifica los diferentes ecosistemas, resalta el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos y, por último, comparte las diferentes políticas a nivel nacional e internacional sobre la gobernanza del agua.

Dirigido a profesionales y estudiantes que deseen apropiarse de la temática relacionada a la gestión de recursos hídricos, así como a todas aquellas personas que deseen conocer cómo se encuentra el país en materia de gestión sostenible de recursos.

## Incluye

- ▶ Análisis en materia de gestión del recurso hídrico a nivel global.
- ▶ Introducción al concepto de ecohidrología y sus principios fundamentales.
- ▶ Relación del cambio climático con la gestión de estos recursos.
- ▶ Las políticas a nivel internacional y nacional sobre la gobernanza del agua.

### Nelson Javier Cely Calixto

Candidato a doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, magister en Obras Hidráulicas, especialista en Agua y Saneamiento Ambiental e Ingeniero Civil. Docente tiempo completo UFPS. Investigador Junior del grupo de investigación Hydros. Consultor con experiencia de más de 15 años en proyectos de ingeniería hidráulica y sanitaria.

### Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

Estudiante de doctorado en Proyectos (UNINI), magister en Administración de Empresas con especialidad en Dirección de Proyectos y especialista en Alta Gerencia. Ingeniero Civil. Docente tiempo completo de la UFPS. Director del grupo de investigación GITOC, investigador con categoría Senior según MinCiencias, Categoría B.

### Dorance Becerra Moreno

Candidato a doctor en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle. Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Ingeniero Sanitario. Docente tiempo completo y director del programa de Ingeniería Ambiental de la UFPS. Investigador Junior del Grupo de Investigación en Ingeniería Ambiental. Consultor con experiencia de más de 18 años en diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales.



Universidad Francisco  
de Paula Santander

Vigilada Mineducación



ISBN 978-958-503-457-0



e-ISBN 978-958-503-458-7