

# **Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica Santa Elena en el Valle de Aburrá**

Trabajo de Fin de Máster  
Máster de Sostenibilidad UPC

Autor: Carlos González Forero

Director: Jordi Morató

**Barcelona 2012**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



Càtedra UNESCO de Sostenibilitat



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

González G.N (2012) Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica Santa Elena en el Valle de Aburrá. Trabajo de Fin de Master en Sostenibilidad. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. Contacto: [c.g@m26project.com](mailto:c.g@m26project.com)

Visto bueno del director

---

Fecha

*A Vero por sus horas, sus días y sus noches.  
Y a mi **Familia**.*

*Agradecimientos.  
A las personas que me dieron apoyo  
Verónica Uribe  
Felipe Quintero  
Leonel Torres*

*Francesc Magrinyà  
Jordi Morató*

## Tabla de contenido

1.	Resumen.....	10
2.	Introducción .....	10
3.	Objetivos .....	12
3.1	Objetivo general .....	12
3.2	Objetivos específicos .....	12
4.	Marco Teórico: Antecedentes y viabilidad .....	13
4.1	Ámbito del PIOM de la microcuenca Santa Elena .....	13
4.2	Aspectos de la sostenibilidad y la gestión integral de recursos hídricos en cuencas urbanas .....	16
4.2.1	El actual modelo de urbanización.....	16
4.2.2	Impactos físicos de las ciudades.....	17
4.2.3	Ciudades, infraestructuras y territorio.....	18
4.2.4	Latinoamérica.....	21
4.2.5	Las ciudades y los servicios ambientales.....	22
4.2.6	Efectos en el recurso hídrico en los sistemas naturales urbanos ...	23
4.3	Gestión Integral del Recurso Hídrico y sostenibilidad .....	29
4.3.1	La gobernabilidad del recurso.....	29
4.3.2	Concepto Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH o IWRM) .....	30
4.4	Diseño urbano sensible al agua (WSUD). Queensland, Australia.....	31
4.4.1	Estrategias.....	33
4.5	Casos de estudio de gestión sostenible del agua e infraestructuras.....	37
4.5.1	Metodología GIRHM (IWRM) a nivel de cuencas hídrica.....	37
4.6	Indicadores de sostenibilidad ambiental de los recursos hídricos .....	40
4.6.1	Indicadores World Water Development Report de las Naciones Unidas	41
4.6.2	Indicadores Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) .....	42
4.6.3	Indicadores Agencia Europea de Medio Ambiente .....	44
4.6.4	Metodología MPEIR de GEO Ciudades .....	48
4.6.5	Metodología informes GEO ciudades.....	49
4.7	Recursos hídricos en Colombia.....	53
4.7.1	Demanda hídrica total nacional.....	53
4.7.2	Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia.....	54
4.7.3	Conceptualización.....	54
4.7.4	Principios, objetivos, Estrategias y Líneas de Acción.....	56



4.7.5	Objetivo general.....	56
4.7.6	Antecedentes en política hídrica.....	59
4.7.7	Antecedentes Normativos.....	60
4.7.8	Actual estructura de gestión administrativa.....	61
4.7.9	Área Metropolitana del Valle de Aburrá.....	61
4.8	Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas y Microcuencas Hídricas (POMCA y PIOM).....	62
4.8.1	Decreto 1729 de 2002 sobre Cuencas Hidrográficas.....	63
4.8.2	Contenidos.....	63
4.8.3	POMCA Río Aburrá.....	64
5.	Metodología, desarrollo y análisis de resultados.....	66
5.1	Metodología.....	66
5.2	Gestión sostenible del Agua de la cuenca Santa Elena en el Valle de Aburrá.....	66
5.2.1	La insostenibilidad del recurso hídrico.....	66
5.2.2	Definición conceptual.....	67
5.2.3	Objetivos.....	68
5.2.4	Marco general.....	68
5.2.5	Ámbitos.....	69
5.2.6	Indicadores y definición de problemática.....	69
5.2.7	Identificación de prioridades en el metabolismo del agua.....	70
5.2.8	Tipos de actuaciones.....	70
5.3	POMCA.....	72
5.3.1	Ámbito.....	72
5.3.2	Marco legal POMCA – PIOM.....	73
5.3.3	Diagnóstico.....	74
5.3.4	Problemáticas.....	75
5.4	Estado del recurso hídrico en la subcuenca.....	77
5.4.1	Problemática ambiental asociada a recursos hídricos y conteo de áreas por usos del suelo.....	78
5.4.2	Marco analítico MPEIR.....	87
5.4.3	Proyecto Urbano Integral Centro oriental (PUI).....	87
5.5	Diagnóstico del balance hídrico.....	88
5.6	Ejercicio práctico.....	88
5.6.1	HMS-HEC. Modelo hidrológico seleccionado.....	88
5.6.2	Datos recogidos.....	91
5.6.3	Desarrollo.....	92

5.6.4	Datos recuperados.....	93
6.	Discusión.....	94
7.	Conclusiones.....	95
8.	Bibliografía.....	97
ANEXO I	.....	99
ANEXO II	.....	100
ANEXO III	.....	103
ANEXO IV	.....	105
ANEXO V	.....	109

## Lista de Tablas

Tabla 1.	Proyecciones megaciudades. Más de 10 millones de habitantes.....	18
Tabla 2.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	35
Tabla 3.	Sistemas de captación de grandes contaminantes.....	35
Tabla 4.	Indicadores WWAP .....	43
Tabla 5.	Indicadores GEO ciudades .....	51
Tabla 6.	Demanda hídrica nacional colombiana. Estudio Nacional del Agua. ....	53
Tabla 7.	Detalle de las condiciones de sobreuso por urbanización .....	80
Tabla 8.	Superficie de la cuenca en los diferentes niveles de amenaza y riesgo .....	83
Tabla 9.	Superficie con riesgo asociado a las inundaciones.....	84
Tabla 10.	Valores de número de curva en la caracterización del terreno .....	90
Tabla 11.	Distribución de la lluvia en el tiempo de precipitación total acumulada Pta	91
Tabla 12.	Cálculo del número de curva para Escenario 1, 2 y 3.....	92

## Lista de Cuadros

Cuadro 1.	Ejemplo de impactos socio-ambientales causados por el mercado internacional.20	
Cuadro 2.	Servicios ambientales asociados al recurso hídrico .....	22
Cuadro 3.	Principales efectos de la urbanización en la respuesta hidrológica .....	26
Cuadro 4.	Entradas y salidas en el metabolismo urbano. ....	28
Cuadro 5.	Principios del WSUD.....	32
Cuadro 6.	Componentes de la matriz.....	48
Cuadro 7.	Grupos de instrumentos de gestión .....	55
Cuadro 8.	Principios del agua y su gestión.....	56
Cuadro 9.	Resumen de objetivos específicos de la política hídrica nacional. ....	56
Cuadro 10.	Otras políticas relacionadas a los antecedentes en política hídrica.....	60
Cuadro 11.	Logros a nivel normativo. ....	60
Cuadro 12.	Otras entidades asociadas a la gestión del recurso hídrico. ....	61
Cuadro 13.	Tratamientos del urbano suelo según Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín	79
Cuadro 14.	Principales proceso erosivos observados .....	82
Cuadro 15.	Efectos erosivos en la subcuenca .....	82
Cuadro 16.	Usos del suelo propuestos por el PIOM para las zonas de retiro.....	84

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b>	<b>Zona baja de la microcuenca. Área urbana y suburbana.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2.</b>	<b>Comparación quebrada Santa Elena a principios del siglo XX, y en la actualidad en la misma zona.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3.</b>	<b>División Administrativa de la Microcuenca Santa Elena.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4.</b>	<b>Aspecto de las diferentes partes de la cuenca.....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5.</b>	<b>Distribución de la población mundial .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 6.</b>	<b>Desertificación en la selva del Brasil .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 7.</b>	<b>Registro del cambio climático en la temperatura y emisiones de CO 20</b>	
<b>Figura 8.</b>	<b>Efectos de los cambios de cobertura del ciclo hidrológico .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 9.</b>	<b>Hidrograma esquemático de las diferencias en la respuesta hidrológica antes y después del impacto de la urbanización.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 10.</b>	<b>Dimensiones de la gobernabilidad .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 11.</b>	<b>Espiral conceptual IWRM .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 12.</b>	<b>Resumen conceptual metodología IWRM .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 13.</b>	<b>Esquema MPEIR .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 14.</b>	<b>Interacción de los componentes urbano-ambientales de la matriz MPEIR 51</b>	
<b>Figura 15.</b>	<b>Ámbitos de gestión hídrica nacional .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 16.</b>	<b>Esquema de articulación entre actores .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 17.</b>	<b>Marco conceptual para la Gestión Sostenible del Agua en Cuencas de ámbito Urbano .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 18.</b>	<b>Esquema conceptual de GIRH.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 19.</b>	<b>Niveles de acción en gestión de la escorrentía .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 20.</b>	<b>Contextos de actuación WSUD .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 21.</b>	<b>Ciclo del agua vinculado a recursos hídricos locales .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 22.</b>	<b>Distribución de microcuencas en la cuenca del río Aburrá.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 23.</b>	<b>Marco normativo e instrumental actual para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 24.</b>	<b>Red de drenaje.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 25.</b>	<b>Ámbito de estudio. Subcuenca (microcuenca) Santa Elena. Medellín 77</b>	
<b>Figura 26.</b>	<b>Usos del suelo actuales .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 27.</b>	<b>Usos del suelo potenciales .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 28.</b>	<b>Intensidad de uso del suelo.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 29.</b>	<b>Usos del suelo urbano .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 30.</b>	<b>Usos del espacio público .....</b>	<b>80</b>

<b>Figura 31.</b>	<b>Usos del suelo rural</b> .....	81
<b>Figura 32.</b>	<b>Condición de recolección de basuras en la Microcuenca</b> .....	85
<b>Figura 33.</b>	<b>Estado de los vertidos en la microcuenca</b> .....	85
<b>Figura 34.</b>	<b>Número de captaciones registradas</b> .....	86
<b>Figura 35.</b>	<b>Proyecto Urbano Integral Centro oriental</b> .....	88
<b>Figura 36.</b>	<b>Hidrograma para diferentes Tr</b> .....	93

## **1. Resumen**

Este trabajo es un seguimiento desde las causas de la insostenibilidad del recurso hídrico en el modelo urbano contemporáneo, hasta el caso concreto de la cuenca Santa Elena, en el Valle de Aburrá, con el fin de formular acciones más sostenibles en el marco de planificación territorial local, para una gestión más acertada y del recurso.

El fenómeno de la urbanización contemporánea es un proceso que se ha extendido de manera generalizada por todo el mundo de igual manera que sus efectos sobre los territorios y sus recursos. Los ecosistemas son sensibles a la demanda de servicios ambientales, y tal sensibilidad se manifiesta en la intensidad de ésta. El agua es un recurso fundamental para cualquier proceso ecológico o humano y que se ve altamente afectado con la urbanización. Hay una serie de externalidades negativas como el aumento del riesgo y la vulnerabilidad humana, el detrimento de los ecosistemas y la disminución en la oferta de servicios ambientales, que están asociados a la mala gestión del agua en los procesos de urbanización, y que van en aumento en cantidad o intensidad, en un mundo con una población creciente y cada vez más urbana, con patrones de consumo y prácticas de extracción y explotación con muy altos costes ambientales para sus sostenibilidad.

Las acciones a escala local sobre el territorio, en conjunto, le transforman. Son el instrumento para disponer una porción de suelo al servicio humano. En un contexto global de esfuerzos para lograr objetivos de bienestar humano generalizado, la gestión integral del recurso hídrico en cuencas es un mecanismo de articulación para mejorar la calidad de vida humana buscando la preservación de los recursos y respondiendo a las directivas en las diferentes escalas del territorio. La microcuenca Santa Elena, en Colombia, es un caso práctico en proceso, susceptible de cambios en la gestión de sus recursos hídricos, mediante instrumentos de planificación e implementación de medidas para un manejo que disminuya y compense los cambios en el ciclo hidrológico producidos por las actividades humanas.

## **2. Introducción**

El desarrollo territorial en Latinoamérica se ha fortalecido en la última década por la adecuada actuación de los gobiernos tanto en los ámbitos locales como internacionales. La preservación de los recursos y servicios ambientales, los valores paisajísticos, el bienestar social y económico, y la preservación del patrimonio natural han ganado terreno en las agendas gubernamentales, derivando en estudios, programas y proyectos de fortalecimiento socioeconómico y ambiental. Sin embargo, la preocupación por los efectos del Cambio climático, que lleva varios años siendo estudiado y advertido por expertos a nivel mundial y ha sido motivo de cumbres y compromisos por parte de las naciones, apenas comienza a tener repercusiones a nivel de desarrollo socio-territorial.

Entre 1990 y 2002 se realizó un progreso considerable en el porcentaje de población mundial que utilizaba fuentes de agua potable mejoradas, pasando del 77% al 83%, mientras que el 62% de la población mundial tuvo acceso al saneamiento básico desde el 2008 (UNICEF y OMS, 2008). Sin embargo, aún se está lejos de poder alcanzar tales propósitos. En África, unos 2.600 millones de personas siguen viviendo sin servicios de saneamiento óptimo, y 1,2 millones de personas recurren a hacer sus deposiciones de manera insalubre como letrinas públicas o letrinas a cielo abierto, o directamente en el medio.

La Asociación Mundial del Agua definió en el año 2000 a la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH o IWRM) como “el proceso que promueve el desarrollo y manejo coordinado del agua, el territorio y los recursos relacionados, con el propósito de maximizar

los beneficios económicos, y el bienestar económico, allanado el camino hacia un desarrollo sostenible de forma equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales”. Tal definición evidencia la afinidad entre aspectos como los económicos, los sociales, políticos y ecológicos, ligados entre sí por un común determinante: el recurso hídrico.

Hoy los gobiernos se enfrentan a la responsabilidad de garantizar diferentes alternativas de acción que de un lado permitan a las administraciones locales garantizar un territorio más equilibrado para sus habitantes, mejorando las respuestas a problemas socio-ambientales como el cambio climático y la excesiva degradación de los suelos y las aguas, y de otro, les ayuden a ganar terreno en el cumplimiento de las agendas internacionales de protección social y medio ambiente.

Las naciones tienen el deber de poner en marcha mecanismos para la adaptación a nuevas situaciones ambientales en un escenario mundial de transformación en todos los ámbitos. Son las poblaciones y sus administraciones públicas locales quienes habrán de enfrentarse a estos nuevos escenarios, y tendrán que estar dotados de las herramientas legislativas y técnicas asequibles y necesarias para garantizar el bienestar humano.

Pero tales mecanismos deben mantener los marcos de los convenios pactados. La ONU e instituciones asociadas hacen un esfuerzo enorme para poner a disposición de las naciones y su población, el conocimiento mínimo necesario y las facilidades para gestionar por buen camino el Recurso Hídrico.

Se trata de dar una mirada a las políticas en el marco de la actual situación ambiental del recurso hídrico en las diferentes escalas gubernamentales, revisar la respuesta actual a tal problemática, y exponer alternativas técnicas que pueden implementarse para garantizar un manejo más sostenible del agua.

Este trabajo no pretende medir la sostenibilidad de la Microcuenca Santa Elena. Más bien, busca abordar alternativas conceptuales y técnicas para la gestión sostenible del recurso hídrico en un marco de actuación local. Las políticas nacionales y locales aún no avanzan al ritmo necesario para obtener buenos resultados en Gestión Integral del Recurso Hídrico.

Primero se hará un recuento del problema de la insostenibilidad del modelo de urbanización actual. Luego se tocarán temas sobre las implicaciones de la gestión del recurso para luego analizar el caso específico de la microcuenca y a modo complementario, hacer un ejercicio que simule la respuesta hidrológica en tres situaciones de cambio en coberturas del suelo.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar la gestión del agua en la subcuenca hidrográfica Santa Elena en la ciudad de Medellín, dando especial importancia a la escorrentía urbana, con el ánimo de abordar la viabilidad de implementación de dispositivos de control que permitan evitar problemas tales como desbordamientos de cauces, taponamientos de las redes, y contaminación de cuerpos de agua. Todo esto en el marco de las infraestructuras urbanas, el urbanismo sostenible, y las políticas de gestión y conservación del agua.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Establecer un marco de referencia de la Gestión Integral de Recursos Hídricos que permita entender las implicaciones locales de la implementación de políticas de bienestar humano, medio ambiente y sostenibilidad a nivel mundial, y viceversa.
- Generar un fundamento teórico que argumente la insostenibilidad en la gestión tradicional de las ciudades.
- Hacer una revisión de los indicadores de calidad del agua y seguimiento de programas de gestión de recursos hídricos, asumidos por diferentes agencias y programas a nivel mundial.
- Analizar la problemática y gestión del agua en la cuenca Santa Elena del Valle de Aburrá, y enmarcar el Plan Integral de Ordenamiento y Manejo en un contexto práctico de políticas hídricas locales, nacionales y globales.
- Determinar las implicaciones y pertinencia de la implementación de diferentes mecanismos de control del volumen de escorrentía y de carga contaminante, y del cambio en el régimen del uso del suelo y coberturas.
- Aplicar un modelo matemático para el análisis de la respuesta hidrológica bajo cambios que signifiquen usos sostenibles del suelo e implementación de sistemas de control.
- Justificar las relaciones entre los usos del suelo en la microcuenca y las problemáticas asociadas al agua.



## **4. Marco Teórico: Antecedentes y viabilidad**

Este capítulo está dedicado a generar una base teórica sobre los procesos para la planificación, evaluación del estado medioambiental y seguimiento de progreso en planes de gestión integral de recursos hídricos. Se buscará responder a las siguientes preguntas:

¿Cuál es la importancia medioambiental, económica y social de la implementación de mecanismos alternativos de control en la planificación y ejecución de infraestructuras y obras públicas en general?

¿Cuales son las escalas de planificación a las que está supeditada la gestión integral del agua en la microcuenca Santa Elena?

¿Cuál es el marco político de las actuaciones en la cuenca y los instrumentos de actuación?

¿Existen aportes o deficiencias en el manejo multi-escala de indicadores para la evaluación del estado de recursos hídricos y seguimiento de planes, en las transiciones de escala?

### **4.1 Ámbito del PIOM de la microcuenca Santa Elena**

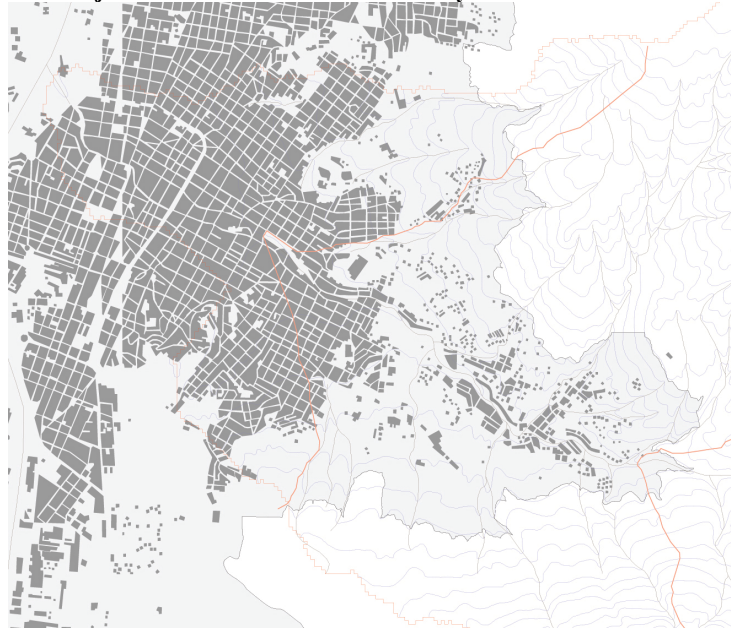
El PIOM de la microcuenca Santa Elena se entregó en 2005 y fue un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, bajo la responsabilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Es una de las sub-cuencas del río Aburrá a las que se dio prioridad de implementación.

Se encuentra en la zona centro oriental del municipio de Medellín y su cauce principal, la quebrada Santa Elena, entrega aguas directamente al río Aburrá. Tiene una superficie total de 45,08 km<sup>2</sup> y una longitud del cauce principal de 15,40 km. Como parte de la red de drenaje se entregan al cauce principal, 29 quebradas.

Está constituida por una zona urbana muy consolidada en la parte baja y media. Allí se encuentra el centro representativo de Medellín, y parte de barrios tradicionales. En esta área tuvieron los inicios los asentamientos que dieron origen a la ciudad moderna.

Esta zona es de mucha importancia para Medellín por que concentra gran parte de su historia. Gran parte de la vida urbana, desde sus inicios, confluye allí, y la quebrada ha hecho parte de toda la transformación. Fue fundamental del acueducto de la ciudad inicial, y luego, por el incremento en la urbanización, la sociedad de Mejoras Públicas de Medellín, decidió cubrir el último tramo de la quebrada hasta unos metros antes de su entrega, por razones de salud pública. Sin embargo, su forma determinó la de las vías que la confinan, por tal motivo, la avenida la Playa y sus consecutivas hasta el río Medellín, tienen una geometría ondulada, y de una excepcional arborización.

**Figura 1. Zona baja de la microcuenca. Área urbana y suburbana.**



Elaboración propia

En la porción de ciudad se encuentran 67 barrios distribuidos en 3 comunas: Villa Hermosa, Buenos Aires y la Candelaria. También se encuentra un corregimiento, Santa Elena, con 10 veredas. En la Figura 2 se muestra la división administrativa. Allí viven 379402 personas (cálculo hecho por el PIOM con datos y proyecciones del DANE 2005).

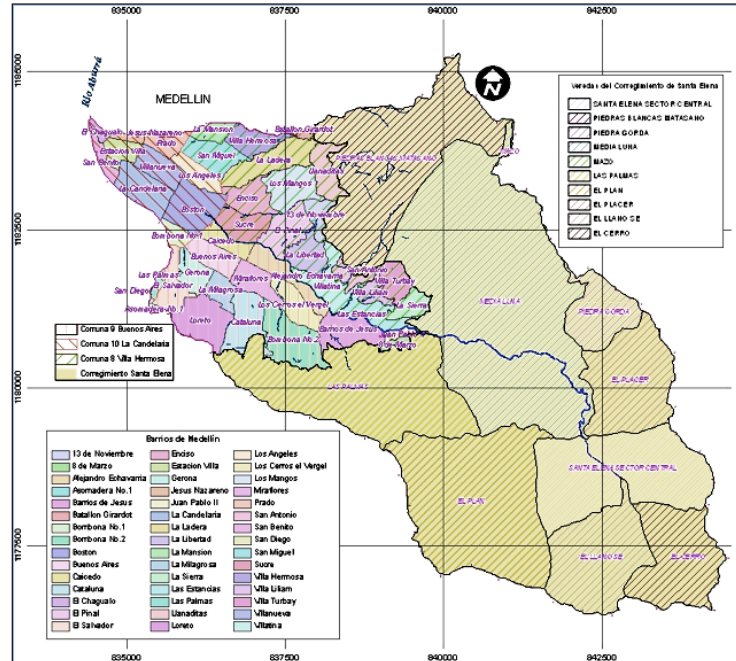
**Figura 2. Comparación quebrada Santa Elena a principios del siglo XX, y en la actualidad en la misma zona.**



Fuente. Foto 1; archivo histórico de Medellín 1920 BPP; foto 2, archivo personal

En el ámbito general hay bosques nativos, suelos para producción agropecuaria y forestal, y la zona urbana y sub-urbana, que representa el 27,14% del área total de la microcuenca.

**Figura 3. División Administrativa de la Microcuenca Santa Elena**



Fuente: PIOM Santa Elena. AMVA

La cuenca se clasificó en el PIOM así:

- Parte alta 2.250 y 2.500 msnm, con pendientes desde menos de 12% hasta cerca del 30%;
- Parte media alta 1.870-2.250 msnm, de relieve abrupto, con pendientes mayores a 50 y a 75%, favorable a los movimientos en masa y otros procesos erosivos;
- Parte media, o franja de transición 1710-1870 msnm, con pendientes entre 30-40%,
- Parte baja 1.440-1.710 msnm, ligeramente inclinada. Allí la quebrada se transforma paisajísticamente por la acción de la urbanización.

Tiene un desnivel que va desde los 1570 msnm en el punto de entrega, hasta los 2800 msnm, siendo los 2500 msnm la cota de nacimiento. Su pendiente media es de 37%, y las demás varían entre 25 y 39%. El cauce tiene una pendiente relativamente baja: 1,27%. Esto debido a las fuertes pendientes del terreno concentradas entre la zona media y alta.

Tales condiciones de pendientes sumadas a la pluviometría – con una media anual entre 1.400 mm, en la parte baja, hasta 2.500 mm en la parte alta, hacen que aunque tenga un régimen moderado alto, puede presentar aumentos de caudal repentinos y de gran volumen. Esto representa un riesgo para los habitantes que viven cerca de la mancha de inundación.

En la Figura 4 se pueden ver los diferentes aspectos de la cuenca, tanto en el altiplano, como en la parte media- baja y baja. Se pueden apreciar los diferentes tipos de consolidación en la edificación urbana, y el valor paisajístico y ambiental de la parte alta.



**Figura 4. Aspecto de las diferentes partes de la cuenca.**



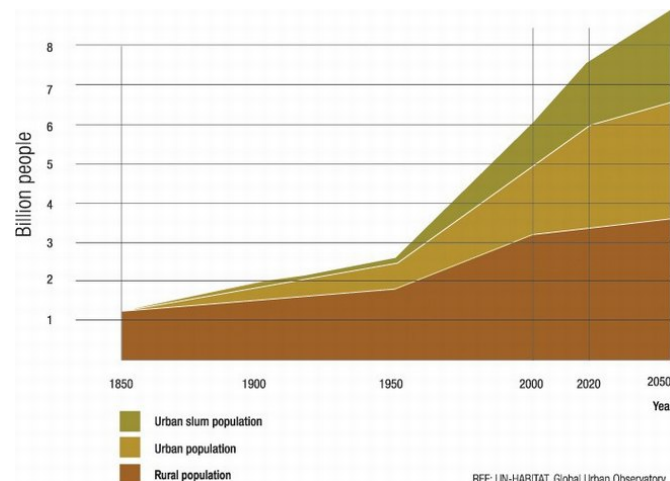
Fuente: desconocida.

## 4.2 Aspectos de la sostenibilidad y la gestión integral de recursos hídricos en cuencas urbanas

### 4.2.1 El actual modelo de urbanización

El modelo urbanístico de las ciudades modernas son una consecuencia de los diferentes procesos que en la historia ha tenido el hombre para sacar ventajas de la vida en sociedad y su ocupación y posición geográfica. Tal modelo difiere de cualquier otro fenómeno urbanístico anterior a la revolución industrial, tanto en actividad como en los regímenes económicos, políticos y sociales. Por tanto, las ciudades actuales son posibles gracias a la industrialización, y el fenómeno de la globalización es la fase más reciente en un proceso transicional de intercambio ligado a la población, salud, economía, política, las relaciones sociales y el medio ambiente (Kai N. Lee, 2007).

**Figura 5. Distribución de la población mundial**



Fuente: UN-HABITAT, 2008

Con los nuevos órdenes en la propiedad del territorio surge la necesidad de regular tal derecho, su transformación y edificabilidad. Así se da inicio a la disciplina Urbanística, y a un modelo basado en la propiedad pública y privada que ha rentabilizado mediante la plusvalía la misma edificación de las ciudades, basado en la ampliación de cobertura de servicios, transporte y gestión, y la ocupación y transformación de zonas a usos urbanos.

El nuevo sistema económico soportado por la industria, la tecnología, la mano de obra y la dinamización del transporte, cambió la forma de gestión de la sociedad, su dinámica económica, y las políticas de propiedad del territorio. La transformación de recursos naturales y humanos en capital, se reflejan hoy en la situación contemporánea de las ciudades. A pesar de que desde el siglo XIX el ingreso medio per cápita a crecido, la distribución de la riqueza y el bienestar se han distribuido inequitativamente (Kai N. Lee, 2007), de igual manera las externalidades del desarrollo. El poder económico se ha basado en las ciudades, siendo la base de las economías de las naciones.

#### **4.2.2 Impactos físicos de las ciudades**

En los últimos veinte años la población mundial ha aumentado constantemente a una tasa promedio anual de 1.4%, pasando de cinco mil millones en 1987 a casi siete mil millones en la actualidad (PNUD, 2007). De igual manera, la expansión urbana aumenta en todo el mundo, siendo los países en desarrollo los más afectados. Las migraciones de personas del campo a los complejos urbanos hacen parte de las principales razones de tal expansión.

La urbanización es el fenómeno geográfico más invasivo y transformador del paisaje. La transformación de áreas naturales en zonas de régimen urbano trae consigo cambios importantes en la hidrología y geomorfología de cuencas y torrentes asociados, de forma extensiva e intensiva (Michael J. Paul y Judy L. Meyer). Los cambios en el territorio y sus coberturas y usos del suelo, ejercen efectos negativos sobre la calidad ambiental del territorio. Tales efectos se pueden constatar tanto en los cambios en el paisaje urbano y periurbano, como en estudios y en problemáticas en el día a día asociadas a generación y ocupación de zonas de riesgo, inundaciones, aludes, pérdidas humanas, económicas y ecológicas por desastres o episodios naturales extraordinarios.

El aumento en la densidad poblacional de la ciudad sugiere impactos importantes en el medio ambiente tanto próximo como global. La población mundial ha incrementado su porcentaje de residencia en zonas urbanas, sobrepasando ya el 50%, cuando a principios de la década del 60 del siglo pasado el porcentaje era del 34% existiendo pronósticos de un 60% para el 2030. En Colombia, la población urbana en 2009 según proyecciones del DANE fue del 75% del total de habitantes (UNICEF).

La ONU estimó que para finales del año 2010, la población urbana mundial pasaría a ser más del 50%, siendo esta cifra una media de diferentes realidades que se agudizan o menguan, dependiendo del contexto nacional. Sin embargo, el deterioro generalizado del medio ambiente se atribuye también a la inequidad en el acceso a los satisfactores de necesidades básicas, y recursos en general. El uso insostenible de recursos es otro factor determinante en los efectos negativos del medio ambiente.

Este cambio debe considerarse especial en una escala de tiempo más amplia. El hombre dejó de ser cazador-recolector hace poco menos de diez mil años, y con la agricultura se asentó y cambió sus hábitos de producción. Este cambio dio paso a un modelo económico y logístico de ciudad que llevó muchos siglos en transformación, aumentando paulatinamente la efectividad de la producción, y que con sus muchos matices, permaneció hasta la revolución industrial. Todo este proceso ha movilizó a la población entre las ciudades y el campo, y es

en este momento de la historia en el que la mayoría de la población mundial ha dejado de ser mayoritariamente rural, para ser mayoritariamente urbana.

Las observaciones del hechas por el Programa de Evaluación de Ecosistemas del Milenio del 2005 (Millennium Ecosystem Assessment Program) evidenció que las ciudades de más rápido crecimiento se encuentran en la franja intertropical; las zonas más pobladas del mundo se encuentran en al norte de la India en la región del Ganges, en el norte y planicie de China, y en la isla de Java.

En este escenario de aumento poblacional, la provisión de agua y manejo del recurso hídrico será una tarea más difícil con el tiempo, más aún en las ciudades de más de 10 millones de habitantes. El número de estos conglomerados urbanos va en aumento, sobre todo en las ciudades en desarrollo, como se ilustra en la Tabla 1

**Tabla 1. Proyecciones megaciudades. Más de 10 millones de habitantes.**

<b>1975</b>	<b>Habitantes 2003</b>	<b>Habitantes 2015</b>	<b>Habitantes</b>
	<b>En millones</b>	<b>En millones</b>	<b>En millones</b>
Tokio, Japón	26.6	Tokio, Japón	36.2
New York, USA	15.9	Ciudad de México, México	22.6
Shanghai, China	11.4	New York, USA	20.9
Ciudad de México, México	10.7	Sao Paulo, Brasil	20.6
		Mumbai, India	20.0
		Delhi, India	19.7
		Calcuta, India	17.9
		Buenos Aires, Argentina	17.5
		Shanghai, China	17.0
		Jakarta, Indonesia	16.8
		Los Angeles, USA	16.2
		Dhaka, Bangladesh	14.6
		Osaka-Kobe, Japón	13.1
		Rio de Janeiro, Brasil	12.9
		Karachi, Pakistan	12.7
		Beijing, China	12.6
		Cairo, Egipto	12.4
		Moscú, Rusia	11.4
		Metro Manila, Filipinas	11.3
		Lagos, Nigeria	11.1
			10.9
			10.0

Elaboración propia. (Referenciado en Marshall, 2005).

Y, aunque los suelos urbanos representan un 2% de los continentes, la transformación de las dinámicas físico-químicas y ecosistémicas no significan una equivalencia proporcional. Indicadores como la huella ecológica o la huella hídrica dan una idea en escalas verosímiles de cuanta área de suelos aprovechables o metros cúbicos de agua reales se necesitan para el sustento de la actividad humana. El cambio climático, la extinción de especies y la alteración o reconducción de cuerpos y cursos de agua, son efectos negativos de escala planetaria como consecuencia de una fuerza emergente: la población humana.

#### **4.2.3 Ciudades, infraestructuras y territorio**

Las ciudades son grandes concentradores de potencial que afectan y determinan las condiciones sociales y económicas de las naciones. Concentran a gran parte de la población, lo que se traduce en capital de conocimiento, gestión y mano de obra. Aunque representan un porcentaje bajo de ocupación del territorio, son determinantes en el desarrollo social, económico y ambiental del los países (GEO 4, PNUMA).

Dada la complejidad que supone la gran concentración de personas y actividades en estas porciones de suelo, y la interacción -comunicación e intercambio- entre ellas, las ciudades ofrecen facilidades como agua potable y saneamiento, energía, telecomunicaciones, transporte, educación, salud y vivienda. Tal propósito implícito (la cobertura de servicios a todos sus habitantes), requiere de un soporte infraestructural que transforma tanto el suelo ocupado y sus periferias, así como zonas de las cuales se sirve para su sostenimiento como los son las áreas de producción agrícola, vertederos, zonas de pesca y zonas de extracción de minerales. Por otro lado, el crecimiento en población y extensión de las ciudades incrementa la demanda de alimentos, agua, energía, y materias primas, ejerciendo presiones sobre los ecosistemas, e interrumpiendo sus funciones ambientales. Los cambios en la demografía por migraciones y urbanización, alteran los usos del suelo y la demanda de servicios ambientales.

La situación y dinámicas económicas locales e internacionales, y los hábitos alimentarios también pueden determinar variaciones significativas en los ecosistemas. El aumento en la capacidad de adquisición, sumado a la competencia en la oferta internacional de productos, hace que los mercados tengan impactos descomunales como la GIRH o deforestación de bosques nativos. Esto denota un claro vínculo entre la dinámica socioeconómica de las ciudades, el comercio, y los suelos de producción.

**Figura 6. Desertificación en la selva del Brasil**



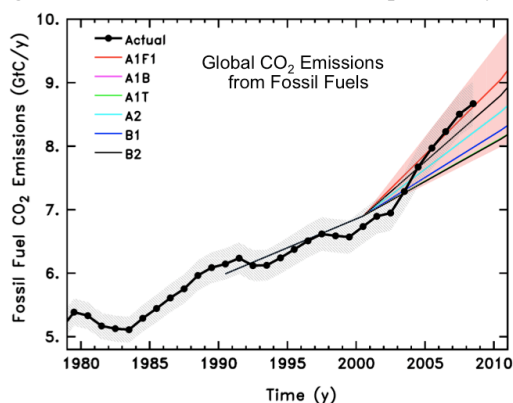
Fuente: The Copenhagen Diagnosis, 2009

En las últimas décadas, muchos científicos han coincidido en que la economía mundial está afectando al medio ambiente. El reto de la sostenibilidad es imposible de alcanzar manteniendo los patrones económicos contemporáneos. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) advirtió en el Primer Informe de Evaluación en 1990, el inminente cambio en la composición y dinámica de la atmósfera por el uso de combustibles fósiles (IPCC, 1990). Este fenómeno ha sido ratificado continuamente y ha despertado la inquietud de los gobiernos, que en el año 1997 hicieron un acuerdo mundial para la disminución de gases de efecto invernadero, conocido como Protocolo de Kyoto que no entró en vigor sino hasta el año 2005, y que tiene validez hasta el 2012.

En 2009 se celebró la quinceava Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático en Copenhague, organizada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, como punto final de un proceso de renovación de acuerdos al respecto frente al inminente término del Protocolo de Kyoto.



**Figura 7. Registro del cambio climático en la temperatura y emisiones de CO**



Fuente: The Copenhagen Diagnosis, 2009

La urbanización aporta una cantidad ingente de nutrientes al medio natural, que por sí solo no alcanza a reponerse, deteriorando o acabando con ecosistemas. A esto se le suman otras alteraciones como los vertidos incontrolados de sustancias químicas tóxicas al aire, al agua y al suelo, los cambios drásticos en las coberturas vegetales, y los cambios que ejercen alteraciones en la dinámica física y química natural del medio.

Otro factor importante en la contaminación local, y que tiene impacto a nivel global es la energía. La extracción de materias primas y el transporte, así como la producción, continúan siendo devastadores para los suelos en el caso del carbón, y altamente contaminantes por fugas, vertidos y emisiones de CO<sub>2</sub> para el caso del petróleo. La demanda y producción energética continúa siendo un componente importante en la insostenibilidad de las ciudades contemporáneas por la dualidad de la amenaza: inestabilidad en el acceso a recursos energéticos, y el impacto ambiental derivado de consumos excesivos.

#### **Cuadro 1. Ejemplo de impactos socio-ambientales causados por el mercado internacional.**

A partir de 1970 la ganadería comenzó a tener impacto importante en bosques ricos en biodiversidad de países de centro y Suramérica. Tal producción inicialmente era para consumo local.

Cambios socio-económicos por los cambios en las estructuras de poder a nivel local en los últimos 50 años.

El 80% de la producción de carne de Brasil se encuentra en el Amazonas; ésta se incrementó en un 300% entre 1995 y 2003, impulsada mayoritariamente por las exportaciones.

Entre 1990 y 2001, las importaciones de carne proveniente de Brasil aumentaron de un 40% a un 74%; Rusia y Medio Oriente han entrado a jugar un papel muy importante en la demanda mundial de carne.

El Centro de Internacional de Investigación Forestal reportó una pérdida ambiental catastrófica: de 41.5 millones de hectáreas de bosque amazónico perdidos en 1990, se pasó a 58.7 millones en 2000, debido al crecimiento del mercado internacional de carne procedente de Brasil. En 10 años se devastaron áreas de bosque amazónico equivalentes a 2 veces el área de Portugal para ganadería y explotación maderera.

En 2004 más de un millón seiscientos hectáreas de bosque amazónico fueron arrasadas para cultivar soja, alimento principal del ganado.

Sin embargo, se están llevando a cabo programas para implementar prácticas para producir carne orgánica, con el fin de detener este impacto.



---

Hasta el 2005 el 60% de los servicios ambientales del mundo se estaban utilizando insosteniblemente.

Aunque en los últimos 50 años se ha suplido la demanda generalizada y creciente de alimentos satisfactoriamente, la intensidad de la producción ha aumentado el flujo de servicios ambientales

El rápido incremento en la utilización de fertilizantes sintéticos ha aumentado la cantidad de nitrógeno y fósforo de las aguas continentales y sistemas costeros, afectando al ciclo de nutrientes.

El cambio en la composición atmosférica ha afectado la regulación del clima.

---

Fuente: State of the World 2006.

La desigualdad en la demanda energética, y los efectos generalizados derivados del consumo y que afectan casi siempre a las poblaciones más vulnerables, como el cambio climático, son una constante creciente y que parece no tener soluciones a corto y mediano plazo. De esta manera, el desarrollo urbano tiene dos retos: uno social, que garantice accesibilidad equitativa a servicios básicos y bienestar, y uno ambiental, que es la preservación y recuperación de los sistemas ambientales.

#### **4.2.4 Latinoamérica**

El nivel medio de urbanización de los países latinoamericanos es similar al de países desarrollados. En el año 2005 la población urbana había alcanzado el 77%. Este crecimiento se debe en parte a las migraciones de población rural hacia las ciudades. Tales desplazamientos han sido generados por el deterioro de las condiciones sociales y económicas en el campo, producto del fracaso en las políticas de protección rural.

Sin embargo, en algunos casos tal movilidad ha favorecido a la expansión de bosques montañosos, ya que el medio natural ha dejado de tener la presión de las actividades agropecuarias. Los casos mejor documentados se encuentran en República Dominicana, Puerto Rico, Oaxaca en México, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Ecuador y Argentina. Sin embargo, tales migraciones no necesariamente son hacia ciudades, sino también hacia tierras más bajas donde la producción agropecuaria puede representar entre 2 y 10 veces la producción en montaña (H. Ricardo Grau y T. Mitchell Aide).

Los entornos de las ciudades latinoamericanas están muy afectados por la producción, el consumo y los vertidos, deteriorando los suelos, la biodiversidad, contaminado el agua, y perdiendo valores paisajísticos. A esto se le suma los altos niveles de pobreza dentro de las ciudades. En 2005 el 39% de las familias latinoamericanas vivían por debajo del umbral de pobreza (CEPAL 2005).

La contaminación de las aguas superficiales y del acuífero es una constante. Solo el 14% de las aguas residuales son tratadas a pesar de los esfuerzos por ampliar la cobertura del saneamiento; 85.7% en zonas urbanas y 32.3% en áreas rurales. Nitratos, metales pesados y otras sustancias peligrosas contaminan tales fuentes de agua, evidenciando el poco éxito en el control ambiental de vertidos.

El vertimiento de residuos sigue siendo un problema en aumento. Tanto la generación de residuos, como su separación, aprovechamiento y correcto deshecho sigue siendo un reto para las ciudades latinoamericanas. Sólo el 23% de los residuos recogidos en las ciudades –que son el 83%- , son vertidos correctamente, el resto son arrojados a cuerpos de agua, y zonas sin ningún control ni manejo.

Es común que los asentamientos en el entorno latinoamericano no cuenten con medidas adecuadas de protección frente a eventos extremos como inundaciones o movimientos de

tierra. Son frecuentes los asentamientos ilegales de personas, por lo general marginadas, en zonas consideradas de alto riesgo por deslizamientos o anegaciones, aunque también pueden existir barrios autorizados en estas zonas (Dourojeanni y Jouravlev, 1999). Por tanto, es evidente la incapacidad de las municipalidades de ejercer control sobre los usos del suelo y la planificación territorial.

#### 4.2.5 Las ciudades y los servicios ambientales

Los servicios ambientales y las reservas de bienes naturales son indispensables como soporte para la vida en la Tierra. Los ecosistemas brindan beneficios que han permitido que la vida haya perdurado hasta nuestros días en una dinámica de cambio dentro de un relativo equilibrio ambiental. Estos contribuyen de manera irrefutable al bienestar humano en todo el mundo. Sin embargo los mercados comerciales han externalizado los costes ambientales por extracción de recursos, dejando por fuera de la balanza un factor tan importante como es el soporte que brindan los ecosistemas (Costanza, d'Arge, de Groot, 1997).

Como consecuencia del crecimiento de la población mundial, y del aumento de los estándares de vida, ha aumentado también la demanda de servicios ambientales. En casi todo el mundo se ha incrementado la expectativa de vida y la demanda creciente de alimentos ha podido ser cubierta a precios asequibles. Ha habido un incremento en la eficiencia y el poder adquisitivo de la población generalizada de los países, y puede decirse que la explotación de servicios ambientales para suplir necesidades básicas como la vivienda, la alimentación, aire y agua ha sido provechosa (Agardy, et al, 2005).

Aunque ha habido un aumento en la eficiencia de la producción, el uso insostenible de los servicios ambientales es un problema preocupante. Como se argumentó anteriormente, a nivel mundial mientras unas regiones ganan en bienestar, otras lo pierden, afectando por lo general a poblaciones vulnerables. Por tanto, su uso insostenible trasciende los aspectos meramente ambientales, afectando ámbitos sociales.

Las coberturas de los suelos son el aspecto más representativo en el estado de los ecosistemas mundiales. Los cambios más importantes se han presentado en la cantidad de suelos forestales, el deterioro de suelos secos, y la urbanización. Otro caso dramático es la degradación y pérdida de sistemas costeros y marinos como los manglares y arrecifes. Este fenómeno ha disminuido la cantidad de peces, y por tal, la biodiversidad y disponibilidad de alimento. La disminución en la calidad de aguas continentales también ha tenido participación en esta pérdida. (State of the World, 2006).

**Cuadro 2. Servicios ambientales asociados al recurso hídrico**

	Servicio ambiental	Relación*
1	Regulación de gases	I
2	Regulación del clima	D
3	Regulación de perturbaciones	D
4	Regulación del agua	D
5	Suministro de agua	D
6	Control de la erosión y retención de sedimentos	D
7	Formación de suelo	D
8	Ciclo de nutrientes	D
9	Tratamiento de residuos	D
10	Polinización	I
11	Control biológico	D

\*I se refiere a una relación Indirecta y D se refiere a una relación Directa.

12	Hábitat	D
13	Producción de alimentos	D
14	Materias primas	I
15	Recursos genéticos	I
16	Ocio	D
17	Cultura	D

Elaboración propia. (Referenciado en Costanza, 1997).

Uno de los estudios más representativos que se han hecho al respecto fue la estimación del valor monetario de los servicios y capital natural publicado en 1997. El grupo liderado por Robert Costanza determinó un estimado de cuanto podían costar en ese entonces 17 servicios ambientales en 16 biomas.

El proyecto buscó establecer un vínculo entre los mercados comerciales y los sistemas ambientales. A grandes rasgos, el estudio pudo determinar que el valor promedio anual de estos servicios en el mundo era de 33 billones de dólares, un valor equiparable a 1,8 veces el PIB mundial en aquél entonces. Con la disminución de la oferta de bienes y servicios ambientales en el tiempo, su precio ha aumentado, posiblemente a la par con el PIB mundial.

#### **4.2.6 Efectos en el recurso hídrico en los sistemas naturales urbanos**

La urbanización genera una demanda concentrada de gran cantidad de servicios ambientales, que afectan a su propio ámbito, y otras áreas en las múltiples escalas geográficas. Las ciudades requieren de grandes cantidades de energía y materias primas, y la eliminación de residuos, que por lo general pasan a ser contaminación del medio ambiente.

El transporte, la electricidad, el agua potable, el saneamiento de aguas y residuos sólidos, los servicios, y las manufacturas, dentro de otros sectores de producción, tienen que ver con el alto consumo de servicios ambientales y la contaminación (International Hydrological Programme, 2006). Por lo tanto, la concentración de personas en zonas urbanas altera dramáticamente el material y los flujos de energía en las zonas afectadas, alterando el paisaje, la disponibilidad de stock ambiental, y los procesos físicos y químicos como el ciclo hidrológico. Con las técnicas y tecnologías contemporáneas, el metabolismo urbano es soportado por cualquier recurso sin importar su distancia, mientras exista el soporte económico, logístico e infraestructural.

A su paso por las ciudades el agua va aumentando o cambiando la carga de sustancias arrastradas. El tipo de cobertura del suelo y las actividades que sobre éste se ejercen van a cambiar la composición del agua una vez entra en contacto con este medio. La lluvia que entra a los suelos agropecuarios sale con una carga de nutrientes, nitrato, fósforo, pesticidas, entre otros. El agua que entra a las industrias si no es tratada adecuadamente puede arrastrar sustancias peligrosas y metales pesados. Las calles y los tejados son depósitos de muchas sustancias orgánicas y químicas que con la lluvia son arrastradas por la escorrentía hasta las redes de saneamiento o hasta el medio natural; desgaste de partes de vehículos por uso o falta de mantenimiento, lixiviados, carga orgánica, metales pesados, sedimentos e hidrocarburos, son el principal contenido de la escorrentía urbana.

El grado y tipo de urbanización, la existencia o no de plantas depuradoras, la diversificación de la red de saneamiento, el control en la fuente de sustancias como lixiviados, químicos industriales e hidrocarburos, entre otros, son determinantes en la afectación química del agua urbana. Hay un aumento generalizado del contenido regular del agua de causas, aunque los aumentos más elevados se dan en la demanda de oxígeno, conductividad, sólidos en

suspensión, amonio, hidrocarburos y metales (Porcella y Sorenson, 1980; Lenat y Crawford, 1994, Latimer y Quinn 1998; USGS 1999).

Las plantas depuradoras no son absolutamente eficientes, por lo que el agua tratada no siempre llega a los niveles mínimos permitidos. Por otro lado, la implementación de redes unitarias en episodios de lluvia intensa rebasa la capacidad de las estaciones depuradoras, descargando agua sin tratar el medio natural. Las fugas en la red de saneamiento y los sistemas sépticos también se suman al problema de la contaminación.

El aumento en las concentraciones de fósforo proviene principalmente de la fertilización de jardines urbanos. El transporte desde los suelos hasta cuerpos de agua puede generar fenómenos de eutrofización. Sin embargo las mayores concentraciones se han observado en nitrógeno. Se ha demostrado la contaminación aguas abajo a cientos de kilómetros por efectos de la urbanización (Meybeck, 1999).

La necesidad de construir infraestructuras viales, y el peligro por proximidad de cualquier incidente natural relacionado con cauces de agua tales como inundaciones o movimientos de tierra, genera modificaciones en la morfología de las cuencas hídricas urbanas, especialmente en la densidad de la red de drenaje natural, convirtiéndola casi siempre en las zonas más densas, en torrentes canalizados dentro de estructuras abiertas o cubiertas. La construcción de tales canalizaciones y el evidente retiro de la vegetación de rivera, también afecta al ciclo de sedimentos de los cauces, el tiempo de descomposición de hojas, la recarga de acuíferos, y las comunidades de invertebrados que puedan haber en el ecosistema por las variaciones en la temperatura (Paul y Meyer, 2001).

La presencia de metales pesados es otro punto negativo que se suma a la salud de los ecosistemas en suelos urbanos, y a la salud humana. La materia orgánica tiene alta capacidad de acumulación, por lo que los estudios han registrado altas concentraciones en sedimentos. Metales como arsénico, hierro, boro, cobalto, plata, estroncio, cesio, rubidio, antimonio, molibdeno, escandio, litio y estaño se han encontrado en grandes concentraciones en sedimentos de corrientes urbanas de Estados Unidos (Jamer, Neal y Robson, 2000). Los más representativos por sus concentraciones son el plomo, zinc, cromo, cobre, manganeso, níquel y cadmio. Su presencia se debe a descargas industriales y al desgaste de componentes en vehículos como neumáticos –que contiene zinc, plomo, cromo, cobre y níquel- , pastas de frenos - níquel, cromo, plomo y cobre-, y piezas del motor – aleaciones de metales que contienen níquel, cromo, cobre y magnesio entre otros.

En cuanto a la regulación frente a perturbaciones del medio, los humedales, meandros, y otras áreas verdes, son componentes vitales en la resiliencia del medio. Sin embargo, es común encontrar en regiones como Latinoamérica, la utilización de estas áreas ribereñas para usos como infraestructuras viales, edificaciones o vertederos sin ningún tipo de control (Dourojeanni y Jouravlev, 1999), interfiriendo en la dinámica física y biológica de cuerpos de agua.

Por sus múltiples atractivos resumidos en accesibilidad, economía o especulación del suelo, es muy común encontrar ocupaciones en riberas y zonas inundables en las cuencas, afectando al comportamiento regular del agua; las inundaciones son el principal problema. El poco o nulo control y planificación en la ocupación de suelos por parte de las administraciones públicas, repercute en los usuarios finales quienes sufren las consecuencias de la desidia en temas de riesgo por causas naturales.

#### **a. Ciclo hidrológico urbano**

El término se refiere a los diferentes cambios físicos y espaciales por los que pasa el agua dentro de los procesos termodinámicos de la atmósfera, los suelos y cuerpos de agua, en un

proceso permanente y de recirculación. Durante este ciclo el agua es transportada por la acción de agentes como la gravedad o el viento, o depositada en acuíferos, cuerpos de agua u océanos, y transformada y distribuida físicamente mediante la evapotranspiración, condensación, precipitación, infiltración, percolación, el deshielo y las escorrentías.

Las ciudades contemporáneas, en conjunto con el crecimiento demográfico y los cambios en las coberturas del suelo, afectan al comportamiento físico del agua en las cuencas hídricas, y a los servicios ambientales asociados. Dado que el agua está sometida a mayores presiones humanas, el ciclo hidrológico es más complejo. Por tanto se hace la diferenciación entre el ciclo hidrológico en condiciones naturales, y el ciclo hidrológico urbano.

El entendimiento conceptual del ciclo hidrológico, y el movimiento de volúmenes de agua determinados en los balances hidrológicos -que son la definición matemática de la distribución de masas de agua-, es fundamental en el manejo integral del recurso hídrico. Saber en escalas variables de tiempo las tendencias en cuanto a disponibilidad de agua, frecuencias e intensidades de lluvias, y la incidencia de factores humanos en las variaciones, puede ayudar en la planeación urbana (Marzalek, 2006), y la prevención de desastres.

#### **b. Cuencas hídricas de ámbito urbano**

Es un conjunto de características geomorfológicas, climáticas y ambientales en general en torno a un cauce principal y sus afluentes, asociadas, a la captación y distribución del agua de forma natural o trasvasada de otras cuencas, y las actividades humanas que en ella suceden.

Las cuencas hídricas y sus subdivisiones no solamente están definidas por sus características geomorfológicas e hidrológicas. En ellas coexisten seres humanos y otras especies compartiendo hábitats, siendo el factor antrópico un determinante de las condiciones ambientales. Son una unidad básicamente hidrológica, que sirve de soporte a hábitats naturales y ciudades, y por tanto es usada como unidad de gestión territorial. Es de aclarar que los límites de las cuencas suelen ser diferentes a las jurisdicciones, siendo necesaria la articulación interadministrativa en la planificación urbana.

La calidad del agua es un buen indicador de la calidad e intensidad de las actividades urbanas. Los estudios para manejo integral de cuencas permiten vincular las fuerzas motrices y presiones de los componentes sociales, económicos, y ambientales a unidades geográficas específicas.

Los estudios hidrológicos en cuencas son regularmente a escalas más amplias que las escalas necesarias en ámbitos hidrológicos urbanos donde la medida de área más común es la hectárea. Se hace necesario un esfuerzo para cambiar las escalas espaciotemporales ya que las escalas de tiempo también se reducen, pudiendo generar errores en la recuperación de datos si no se tiene en cuenta.

Para la definición de las líneas divisorias de las cuencas urbanas, se debe incluir las redes de drenaje, que pueden tener ramales por fuera de las definiciones del terreno. Por un lado, la red de drenaje artificial no siempre sigue la misma dirección que la escorrentía superficial, y por otro, los colectores pueden transferir volúmenes entre cuencas (Valentín, 2006).

#### **Funcionalidad de las cuencas hídricas**

Las cuencas hídricas captan agua dentro de este ciclo. Su geomorfología, composición y coberturas del suelo, y situación geográfica, permiten flujos de agua en la atmósfera, que se infiltran y se depositan en suelos profundos, se evaporan o se escurren en el subsuelo o por la superficie formando torrentes que luego se suman a otras cuencas, cuerpos de agua o aguas marinas. La regularidad de las condiciones climáticas gradúan las entradas naturales de agua a las cuencas, y en estas condiciones físico-temporales los ecosistemas han evolucionado

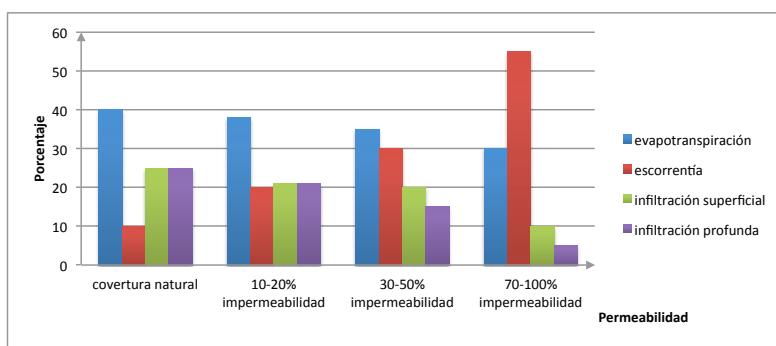
adaptándose a variaciones en escalas de tiempo más amplias que la evolución de las ciudades en sí mismas. En otras palabras, las ciudades ejercen cambios rápidos interfiriendo en la regulación natural -la cantidad, velocidad y calidad- del agua en las cuencas en que se encuentran, induciendo el deterioro de los ecosistemas y su capacidad de reposición.

### c. Respuesta hidrológica

Las zonas impermeables son las correspondientes a coberturas que impiden que el agua se infiltre en el terreno. Los techos, las vías, andenes y caminos peatonales, afloramientos de roca, y suelo compactado son interfaces que impiden el paso del agua pluvial o escorrentías en el suelo. Una vez se comienza el proceso de impermeabilización de coberturas naturales, se da inicio a una serie de eventos que desencadenan en la degradación de recursos hídricos.

En cuencas de ámbito urbano los suelos son explotados en mayor o mejor proporción a lo largo y ancho, por tanto su impermeabilidad cambia dependiendo de la ubicación y con ella la respuesta hidrológica de lugares específicos. En la Figura 8 se muestran los cambios en el ciclo hidrológico.

**Figura 8. Efectos de los cambios de cobertura del ciclo hidrológico**



Elaboración propia (Referenciado en la Agencia de Protección Ambiental EEUU, 1993)

Con el aumento de los volúmenes de agua circulando como escorrentía, se hace inminente su control para evitar riesgos de inundaciones principalmente. Para esto se calculan y construyen estructuras hidráulicas tales como ductos, canales, disipadores de energía, box culverts, tanques de retención, etc. (Arnold y Gibbons, 1996). Su función es la de captar, laminar, conducir y almacenar eficientemente volúmenes que estén dentro de un margen de probabilidad en el tiempo, conocido como tiempo de retorno. De esta manera, entre más impermeable es el suelo, más robustas tendrán que ser las infraestructuras a utilizar, previendo episodios de lluvia a más largo tiempo.

Los hidrogramas en zonas naturales suelen mostrar la distribución de un volumen en tiempos prolongados, a diferencia de las zonas impermeables donde los caudales punta se alcanzan en tiempos más rápidos debido al aumento en la velocidad con que el agua se desplaza por el medio. En las ciudades los volúmenes de escorrentía son mayores al igual que los caudales máximos, la concentración es más rápida y el tiempo de este efecto se acorta, y los arrastres de materias contaminantes deterioran la calidad del agua escurrida. En la Figura 9 se ilustra esquemáticamente la variación del hidrograma en situaciones naturales y urbanizadas de una cuenca (Valentín. 2006).

**Cuadro 3. Principales efectos de la urbanización en la respuesta hidrológica**

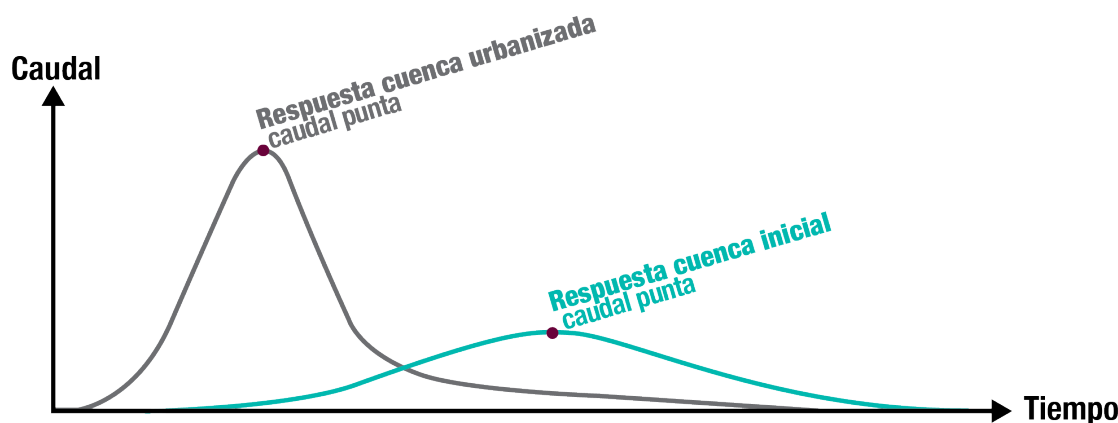
Causa	Efecto
Menor infiltración	Mayor volumen
Aumento de velocidad debido a una menor rugosidad de la	Tiempo base menor

Mayor volumen + tiempo base menor	Caudal punta mayor
Arrastre contaminación difusa desde superficies. Lixiviados, hidrocarburos, metales pesados, nutrientes, etc.	Disminución calidad del agua

Elaboración propia. (Referenciado en Valentín, 2006).

La conexión directa entre superficies de origen como tejados con la red de drenaje tiene mucha influencia en los caudales pico. Por tal motivo deben ser más rigurosos los estudios de la influencia del incremento de la velocidad en la llegada a la red desde tejados de aguas pluviales (Valentín, 2006), y de la respuesta mediante la implementación de sistemas de retención en cubiertas.

**Figura 9. Hidrograma esquemático de las diferencias en la respuesta hidrológica antes y después del impacto de la urbanización**



Elaboración propia referenciado en Valentín, 2006

#### **d. Metabolismo urbano e infraestructuras**

Para suplir las necesidades de aguas potables y no potables, las ciudades se sirven de diferentes fuentes como aguas pluviales directas, causas, acuíferos, aguas marinas, embalses y/o cuencas externas. Los sectores de consumo como son el doméstico, industrial, y servicios, requieren de aguas con tratamientos diversificados, siendo el agua potable la única apta para consumo humano. En estas entradas de agua cabría la discusión de la pertinencia de incluir aguas virtuales, ya que por un lado hacen parte de una demanda que se suple de cuencas externas, pero podría haber un solapamiento en los conteos de aguas industriales y agropecuarias. De cualquier modo, en el Cuadro 4 son incluidas por el autor en consecuencia con el argumento de los impactos de las ciudades fuera de su territorio local, regional o nacional, haciendo la salvedad de que su cuantificación dentro del balance hídrico no tiene ningún soporte bibliográfico encontrado.

El agua, aparte de entrar como insumo de los usos humanos, también lo hace de manera natural. Las aguas pluviales y corrientes externas entran a las cuencas urbanas y son reconducidas a través de canales y redes de aguas pluviales, para luego verterlas al medio natural con o sin tratamiento, como hemos visto anteriormente.

Las entradas de recursos hídricos en la dinámica metabólica urbana están determinadas en la Cuadro 4:

→	→	→	Ciudad y zonas periurbanas	→	→
<b>Cuadro 4. Entradas y salidas en el metabolismo urbano.</b>					
Entradas	Fuente	Soporte	Usos	Salidas	Soporte
<b>Agua potable</b>	Cuencas externas	Desalinizadoras	Doméstico	<b>Aguas residuales</b>	Red de alcantarillado
	Embalses	Redes de trasvases	Industrial		Colectores pluviales
<b>Agua no potable</b>	Causas	Potabilizadoras	Agropecuario	<b>Escorrentías urbanas</b>	Colectores residuales
<b>Agua virtual</b>	Pluviales	Tanques de almacenamiento	Cultural	<b>Infiltraciones</b>	Colectores residuales
	Acuíferos	Red de distribución	Servicios		Plantas depuradoras
	Agua de mar				

Elaboración propia (Con referencia en el Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla, 2007).

“El sistema de saneamiento urbano queda definido como aquel conjunto de técnicas e instalaciones que permiten evacuar al agua natural las aguas pluviales y residuales generadas en la ciudad, sin riesgos sanitarios ni medioambientales” (Magrinyá, Herce y Miró. 2006).

Tanto el agua de lluvia como las aguas residuales de las diferentes actividades urbanas, son conducidas a través de redes unitarias o separativas, desde los diferentes puntos de captación, hasta las plantas depuradoras donde son tratadas; en el peor de los casos son vertidas directamente y sin ningún tratamiento, al medio natural donde se incorporan nuevamente a las dinámicas físicas y ecológicas.

Las fases que componen el sistema de saneamiento son la captación, conducción, cierre y vertido. Dependiendo de los contextos, el sistema puede ser unitario, separativo o pseudoseparativo, y contar con estaciones de depuración antes del vertido.

En las ciudades latinoamericanas, los sistemas de drenaje suelen ser unitarios, sumando aguas domésticas, industriales, y pluviales a un mismo ducto. De entrada este tipo de redes, elegidas por su economía frente a las separativas, plantean dos problemas: el sobredimensionamiento de la red, ya que los caudales para pluviales son mucho más altos e imprevisibles, y la alta variación de volúmenes finales que deben ser tratados, pero que por las limitaciones en la capacidad de las estaciones de depuración, son vertidos en gran parte al medio natural (Dourojeanni y Jouravlev. 1999).

La implementación tanto de un sistema unitario como uno separativo, tiene implicaciones económicas y logísticas diferentes. Tal decisión debe considerar el nivel de inversión, la red existente, y la articulación dentro de un sistema de saneamiento planificado que considere no solo la recolección, sino también el tratamiento integral de las aguas residuales, su viabilidad económica y energética, y una adecuada gestión de residuos producto de la depuración

Tanto los volúmenes de entrada como de salida a través de la redes de agua potable y saneamiento deben considerarse conjuntamente en la planificación de infraestructuras. Indicadores de disponibilidad y aprovechamiento del agua, eficiencia de la conducción, y diversificación y calidad, pueden ayudar a determinar si la gestión de una cuenca es sostenible.



El uso de sistemas separativos está muy limitado en América Latina. La falta de responsabilidad administrativa en asuntos de calidad de agua, planificación y control legislativo son los principales limitantes. Por el contrario, el uso de redes combinadas predomina. Los grandes volúmenes de lluvia que se registran en zonas las zonas tropicales debido a los enormes volúmenes de aguas lluvias, hacen poco eficiente a los sistemas de depuración (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

### **4.3 Gestión Integral del Recurso Hídrico y sostenibilidad**

La gestión del agua tiene que ver con la concertación social, y las acciones que se toman en este proceso para prevenir, mitigar, compensar y/o revertir problemas relativos al suministro de agua potable, los usos del suelo y actividades humanas, la eficiencia y seguridad de obras hidráulicas, la calidad de vertidos, la salud humana, el riesgo, el deterioro medioambiental, y la disponibilidad en cantidad y calidad del agua. Es un proceso de planificación para evitar, prevenir y solucionar conflictos usuario- usuario, y usuarios-medioambiente.

Las perspectivas a nivel mundial para los recursos hídricos anuncian una escasez creciente de agua dulce, situaciones cada vez más extremas en el clima, y la disminución en la cantidad de recursos renovables. La competencia por los recursos con el tiempo será más aguda, y para esto es necesaria una legislación fuerte e integral (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

La planificación urbana y la gestión integral de recursos hídricos debe tener dentro de sus fundamentos el ciclo del agua, como concepto unificador de los aspectos hidrológicos, climáticos, sociales, ecológicos y de usos del suelo (International Hydrological Programme, 2006). Por tanto, la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), debe ser un proceso en la planificación territorial para la gestión y desarrollo coordinado del agua, la sociedad, las instituciones y el medio ambiente.

#### **4.3.1 La gobernabilidad del recurso**

Se considera que la GIRH<sup>†</sup> es un marco conceptual que “promueve el desarrollo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados a fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de una manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2000). Es integral porque conceptualmente abarca tanto la gestión del recurso como los servicios ambientales que provee.

##### **a. Dimensión social.**

Las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas distribuyen el agua de manera dispar en las regiones. Por esto, el acceso a ella y a sus servicios es inequitativo, repercutiendo en el bienestar humano. Las diferencias en la accesibilidad varían de escala siendo una constante tanto a nivel mundial como local. Las personas de poder adquisitivo bajo por lo general viven en asentamientos donde la cobertura es limitada, intermitente o nula, mientras que aquellos con mayores ingresos, pueden lograr el bienestar del agua potable y el saneamiento.

##### **b. Dimensión económica.**

Trata sobre el beneficio al desarrollo y el uso eficiente del agua. La gobernabilidad está estrechamente asociada al desarrollo económico de países, por tanto a los ingresos per cápita. La eficiencia, susceptible de mejorar aún más en países en vía de desarrollo está ligada a la

---

<sup>†</sup> GIRH: Gestión Integral del Recurso Hídrico, en inglés IWRM.

gestión y distribución.

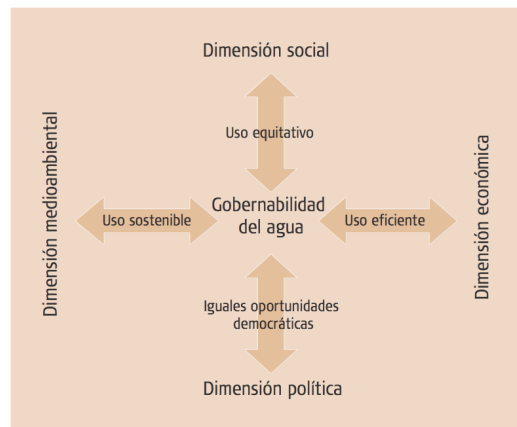
**c. Dimensión política.**

Promueve la participación democrática otorgando poder a las poblaciones débiles o vulnerables, para una gestión más equilibrada y eficaz del agua y actuaciones que garanticen igualdad.

**d. Dimensión de sostenibilidad medioambiental.**

Frente a la amenaza medioambiental que suponen las prácticas intensivas de producción y consumo, es necesario mantener las funciones y servicios ambientales mediante la conservación del agua.

**Figura 10. Dimensiones de la gobernabilidad**



Fuente: UNESCO, 2006

En estas cuatro dimensiones se debe mover la gobernabilidad, instando siempre por decisiones apropiadas en los niveles de gobierno, sociedad civil y sector privado. La interacción fluida entre estos actores va a permitir concertar y distribuir cargas, responsabilidades y beneficios de manera más equitativa.

Es el conjunto de “sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos que afectan al uso, desarrollo y gestión de los recursos hídricos y a la prestación de servicios hídricos en los diferentes niveles de la sociedad.” (UNESCO, 2006). La gobernabilidad va a determinar la distribución espacial, temporal y de calidad en una comunidad, por otro lado la demanda depende de los intereses de los actores, y su buen ejercicio condiciona la distribución equitativa de tales beneficios.

**4.3.2 Concepto Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH o IWRM)**

Se basa en la idea de que los usos del agua se excluyen entre sí, aunque hay vínculos de dependencia entre ellos. En el actual escenario de crisis del agua causado por el aumento demográfico, la contaminación y las crecientes necesidades asociadas, sumados a la ineficiencia de la gestión y la descoordinación interinstitucional, surge la GIRH como facilitador de la gobernabilidad del recurso.

Los principios según el Programa Hidrológico Internacional son:

- Maximizar los beneficios globales y reducir los conflictos entre los usuarios.
- La integración en la gestión de intereses económicos, sociales y ambientales, tanto de los usuarios directos del agua como de la sociedad en su conjunto.
- Gestión de todos los aspectos relativos a los usos del agua y sus usuarios.

- Gestión de las diferentes fases del ciclo hidrológico.
- Integrar en el ámbito de cuenca todos los sistemas hídricos.
- Gestión de la demanda y oferta de agua integradamente.
- Integrar la gestión del agua con la gestión de planificación de sus y actividades de suelos, demás recursos naturales y ecosistemas asociados.

La aproximación a la planificación territorial utilizando la cuenca hídrica como ámbito, permite vincular aguas arriba y aguas abajo, aspectos antropológicos y ecológicos con la disponibilidad, cantidad, y calidad de aguas superficiales y subterráneas. Siendo el agua un aspecto fundamental para las economías y el medio ambiente, su manejo a escala de cuenca permite articular y comunicar a los diferentes usuarios de una determinada región con su soporte medioambiental.

Desde esta perspectiva, la cuenca es una unidad geográfica con características hidrológicas, climáticas, biológicas, sociales, económicas, morfológicas, geológicas y ecológicas, en la que sus dinámicas dependen en gran parte que de ríos y cuerpos de agua en general, almacenamientos subterráneos, y en general, del comportamiento del ciclo hidrológico.

En una cuenca se puede encontrar una gran variedad de usos del suelo que siempre determinan la respuesta hidrológica. En sentido contrario, la disponibilidad de agua y la capacidad técnica y económica de una región, condicionan las actividades del territorio.

El cambio climático es un hecho. Las variaciones en la actividad climatológica de los últimos años han generado pérdidas humanas y económicas cuantiosas. La adaptación a estos nuevos escenarios requiere de un mayor conocimiento de las dinámicas geológicas, ecológicas e hidrológicas, y la incidencia de las actividades humanas en estos factores determinantes del riesgo.

El ejercicio de la planificación urbana y del territorio se encuentra con un primer obstáculo al abordar la protección del agua en proyectos concretos. La información referida a modelos hidrológicos, contaminación y otros, proviene de estudios que no existen, son costosos para muchos municipios, y la información en general es escasa o de difícil acceso. Para direccionar de manera efectiva la planificación del territorio sensible al recurso hídrico en un contexto de presupuesto restringido, desinformado, o sin un criterio para abordar conceptualmente las primeras fases del trabajo, se recomienda comenzar por analizar la impermeabilidad del suelo. Este acercamiento permitirá llegar a conclusiones aproximadas sobre contaminación y usos del suelo (Arnold y Gibbons, 1996).

Arnold y Gibbons recomiendan tres categorías básicas de estrategias para la reducción presente y futura de la escorrentía urbana. Tales grupos son planeamiento a nivel de región, sector y solar, y regulación.

#### **4.4 Diseño urbano sensible al agua (WSUD). Queensland, Australia**

Es un enfoque de planificación y diseño urbano para la implementación de estrategias para el desarrollo urbano que garanticen un uso sostenible del agua, partiendo del reconocimiento de los impactos negativos del desarrollo urbano en los ecosistemas, y la ineficiencia y vulnerabilidad de las infraestructuras hidráulicas en proceso de deterioro. Un punto crucial en la conceptualización es asumir las aguas pluviales como un recurso más que debe ser gestionado, lo que cambia los planteamientos en el diseño y planificación de obras hidráulicas.

Se trata de un marco conceptual y aplicativo que integra en la práctica de las obras públicas, el concepto de ciclo hidrológico, así como de metabolismo urbano: aguas pluviales,

suministro, aguas subterráneas y saneamiento. Busca plantear alternativas de ingeniería y prácticas para el manejo y uso sostenible del agua. Es un término aplicado en Australia en la ciudad de Melbourne y que tiene similares a nivel mundial como en el Reino Unido, Francia y Estados Unidos. En el Cuadro 5 se resumen los principios que rigen el marco teórico.

**Cuadro 5. Principios del WSUD.**

<b>Restauración y protección ambiental</b>
Restauración del ciclo hidrológico mediante la diversificación en los usos del agua, la eficiencia y el aprovechamiento
<b>Seguridad en el suministro</b>
Mejorar la calidad y cantidad de agua de drenaje vertidos en cauces y cuerpos de agua
<b>Salud pública y la sostenibilidad</b>
Transmisión de conocimientos entre la sociedad y las instituciones
<b>Diversidad en la oferta de soluciones técnicas y tecnológicas.</b>
Integración de tratamiento de aguas pluviales en el paisaje para aprovechar beneficios marginales como mejoramiento del paisaje y restauración de ecosistemas
<b>Reducción de los caudales máximos en la escorrentía en zonas urbanas.</b>
Aplicación generalizada

Fuente: WSUD, 2009.

Los sistemas convencionales para la gestión de aguas pluviales evidenciaron impactos negativos en las escorrentías urbanas, que alentaron al gobierno e investigadores a buscar sistemas más compatibles con el medio ambiente. Esta búsqueda tuvo buen auge, más aún en la década del noventa. Australia tiene unas condiciones climáticas y de respuesta hidrológica especiales sobre todo frente a cambio climático, lo que incentivó tal movilización en la formulación, investigación, planificación, ejecución y control de tales sistemas. A partir de tal década hubo una gran cooperación intergubernamental e interestatal al interior del país con el fin de promover mejores prácticas en la gestión del agua, consolidando la Iniciativa Nacional del Agua (NWI) en 2004, lo que extendería a nivel nacional este marco de uso sostenible.

Su aplicación abarca todos los estadios de la planificación urbana, desde la toma de las primeras decisiones, hasta el seguimiento y mantenimiento de las obras. Este marco busca acciones urbanísticas que minimicen o eviten los impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico y en el medio ambiente, mediante estos objetivos (WUSD, 2009):

- La reducción de la demanda de agua potable.
- Incorporación de tecnologías eficientes para el consumo.
- Fomentar el uso de fuentes alternativas de agua.
- Minimizar cantidad de aguas residuales y garantizar su tratamiento a un nivel adecuado tanto para re-uso como para vertimiento.
- Tratar las aguas pluviales de modo que puedan reutilizarse y/o descargarlas de sedimentos, contaminantes y nutrientes, mediante la retención y vertido controlado.
- Mejorar la calidad de cursos mediante la restauración o preservación del régimen hidrológico natural de cuencas.
- Mejorar la calidad del paisaje y el vínculo con los habitantes.
- Incorporar el agua almacenada en puntos específicos del territorio que pueda usarse como agua para uso humano, promoviendo cierto grado de autosuficiencia mediante el control de entradas y salidas de agua en las edificaciones.
- Utilizar el agua y la vegetación para compensar el efecto “isla de calor” producido por la ciudades.

#### **4.4.1 Estrategias**

##### **a. Conservación del agua**

Incluye el manejo de la demanda y el uso de fuentes alternativas para sustituir el uso de agua potable cuando no es necesario. Reducir el uso de agua potable permitirá que las ciudades sean más resilientes frente a cambios drásticos.

##### **Control de la demanda**

Se trata la implementación de sistemas de eficiencia en el consumo dentro de las edificaciones, y de iniciáticas como normativas, educación y otros.

##### **Fuentes alternativas**

Esto supone llevar a cabo una metodología de análisis de viabilidad.

##### **Ajustes de uso**

Se trata de buscar en las diferentes fuentes de agua, las más adecuadas para el uso final, y de implementar mecanismos para el mejoramiento previo uso. Esto con el objetivo de reemplazar el uso de agua potable en usos que no son estrictamente de consumo humano.

##### **b. Reducción de aguas residuales**

Esta estrategia pretende disminuir las características de la red, la carga en los procesos de depuración, sobrecargas del sistema y finalmente la descarga de nutrientes al medio natural.

##### **Restricción de entradas a la red**

Controlar la cantidad de agua dentro de la red de alcantarillado para generar una red más flexible y menos demandante de recursos.

##### **Reducción de vertidos de aguas residuales**

Las medidas de conservación de agua ayudan en la disminución de aguas residuales. La diversificación en la red de las edificaciones va a ayudar en la discriminación de aguas según usos, para ser tratadas y reutilizadas.

##### **c. Gestión de aguas pluviales**

La rápida conducción de las escorrentías urbanas genera impactos en los ecosistemas acuáticos. Aunque las técnicas convencionales siguen siendo la principal forma de solucionar los problemas de inundación, proteger el ciclo hidrológico del agua va a contribuir a darle un mejor manejo a las aguas de lluvia que se convierten en escorrentía.

Las soluciones se centran en respuestas hidrológicas calculadas para 2 años. Esto permite ajustar los diseños a intensidades de lluvias más acordes con el propósito de conservación de ecosistemas.

##### **Implementación de buenas prácticas de manejo**

Son una compilación de sistemas diseñados y propuestos para la retención y tratamiento de escorrentías, y que se ilustrarán más adelante.

##### **Desarrollo de cadenas de tratamiento de escorrentías**

Es la combinación de diferentes sistemas de control para lograr un tratamiento más robusto, que pueden localizarse de acuerdo a sectores específicos de las ciudades como zonas residenciales, productivas, vías, etc.

#### **d. Buenas Prácticas de planificación**

Se refiere al ejercicio de la planificación y de la aplicación de criterios adoptados para el manejo del recurso hídrico. Estas estrategias se plantean a partir de un estudio detallado tanto de las características ambientales, geomorfológicas, legislativas, y de actividades humanas, entre otros.

En las diferentes escalas de la planificación son necesarias estrategias que permitan un desarrollo controlado y que aproveche oportunidades en el uso conjunto del suelo y las infraestructuras:

- Evitar la ocupación de riveras.
- Establecimiento de los retiros mínimo de cursos de agua para proteger las funciones ecológicas como transporte de nutrientes y control de las inundaciones.
- Tener en cuenta la dependencia de habitantes de áreas periurbanas de causas, y prever próximos escenarios.
- Control en la ocupación y usos del suelo, y el establecimiento de criterios para el control de aguas pluviales para proteger ecosistemas.

#### **e. Buenas Prácticas de Manejo**

Son elementos estructurales y no estructurales de diseño urbano para prevenir, recolectar, tratar, transportar, almacenar y reutilizar recursos hídricos.

##### **Gestión de la demanda**

Son todas las medidas de cambio tanto en los hábitos de consumo como sistemas de soporte para suministro, uso, recuperación y almacenamiento.

Cambios en los hábitos de uso y consumo. Incluye la educación para mejorar la sensibilidad social en temas como la seguridad, protección de fuentes, y uso adecuado.

Las medidas estructurales. Son el conjunto de sistemas o aparatos que permiten disminuir la demanda, como grifos, cisternas de doble descarga, orinales secos, y electrodomésticos eficientes, entre otros.

##### **Almacenamiento de aguas pluviales**

Tiene una doble función: la de conservación del agua y la prevención de efectos del agua de lluvia. Es una manera sencilla para la conservación de agua potable y para evitar la posible contaminación proveniente de otras fuentes de agua. Mediante la captación y almacenamiento de aguas pluviales en techos se pueden abastecer diferentes usos domésticos con tratamientos previos a su uso, en caso de ser requerido para desinfección.

##### **Captación de aguas pluviales**

Las áreas abiertas en la ciudad como vías, parques y espacio público en general reciben una gran cantidad de agua de lluvia que, al transformarse en escorrentía, es susceptible de ser captada para ser reutilizada o vertida al medio natural.

Dependiendo de las actividades en las áreas de captación pueden implementarse sistemas que ejerzan tratamientos específicos que retengan o eliminen contaminantes

tales como metales pesados o nutrientes. Una vez tratadas las aguas pueden utilizarse para usos no potables como riego o usos industriales.

### Tratamiento de aguas residuales para re-uso

El agua residual está compuesta por aguas negras provenientes de las cocinas y sanitarios, y agua gris proveniente de duchas, lavamanos y otras fuentes domésticas. Estas aguas pueden tratarse in situ para ajustarlas a otros usos no potables dentro de la misma edificación. Los sistemas de tratamiento pueden eliminar contenido biodegradable, nitrógeno, fósforo y patógenos, dependiendo del sistema a implementar o las necesidades.

**Tabla 2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Natural. Filtro de humus	0,5 – 10 kL/día	Irrigación subsuperficial
Filtración biológica y filtración por membrana	0,5-100 kl/día	Riego, sanitarios, lavadoras
Humedales de flujo sub-superficial	0,5-360 kl/día	Riego y sanitarios. Requiere desinfección
Bioreactor de membrana	05-500 kl/día	Riego, sanitarios, lavadoras. Requiere desinfección
Biológica. Biorreactor de película fija	1-150 kl/día	Riego restringido. Requiere tratamiento adicional.
Sistema biológico. Tratamiento primario y filtración por recirculación	2-10 kl/día	Riego restringido
Membrana de filtración	40- > 3000 kl/día	Riego, sanitarios, lavadoras
Filtración	9000-38000 kl/día	Requiere tratamiento adicional para lograr usos no potables urbanos

Fuente: WSUD, 2009

### Sistemas de captación contaminantes en grandes concentraciones

Estos sistemas van ubicados en la entrada de los sistemas de drenaje. Hay diferentes sistemas para la captura de contaminantes, y su elección depende de la carga esperada.

**Tabla 3. Sistemas de captación de grandes contaminantes**

Tipo de tratamiento	Calidad del agua <sup>‡</sup>							Hidrología		
	Sg	Tss	Tf	Tn	Dh	Do	H	Mp	Dai	Pr
Canasta de entrada lateral en punto de entrada de basuras	I	I	I	I	A	M	I	I	I	I
Rejilla o malla al interior de desagüe	B	I	I	I	A	I	I	I	I	I
Sistema con función de trampa de sedimentos	M	B	B	B	A	M	I	I	B	I
Filtro de cartucho	M	M	M	B	A	A	M	M	I	I

Fuente: WSUD, 2009

### Cuencas de sedimentación

Por lo general hacen parte de cadenas de tratamiento de escorrentía y por su tamaño están destinadas a remover el 80% de las cargas de sedimentos gruesos. Su tamaño debe calcularse porque sus funciones dependen de la exactitud de su dimensionamiento; si son grandes podrán alojar contaminación fina, indeseada para su correcto funcionamiento, mientras que si es de dimensiones inferiores a las requeridas, los sedimentos pueden pasar aguas abajo interfiriendo con otros procesos de depuración.

<sup>‡</sup>Sedimentos gruesos (Sg), Total sólidos en suspensión (Tss), Total fósforo (Tf), Total de nitrógeno (Tn), Deshechos humanos (Dh), Deshechos orgánicos (Do), Hidrocarbano (Hc), Metales pesados (Mp), Desconecta áreas impermeables (Dai), Provee retención (Pr). Bajo (B), Medio (M), Alto (A), I (inadecuado).

### **Canales de vegetación**

Estos canales vegetales son pequeñas depresiones en el terreno usadas para retener agua lluvia y evitar sistemas de tuberías de drenajes subterráneos. Los canales transportan flujos de agua lluvia a lo largo de laderas suaves, desconectan áreas impermeables aguas abajo del canal y remueven sedimentos gruesos y medios. Son comúnmente combinados con sistemas de bioretención o zanjas para incrementar la remoción de contaminantes.

### **Filtros de arena**

Contribuyen con una mayor calidad de aguas pluviales. Mediante la ralentización de la escorrentía, se atrapan sedimentos, nutrientes y algunos metales. Su constitución permite disminuir la velocidad de la escorrentía y retrasarla en la respuesta hidrológica.

Están desprovistos de vegetación y ahí radica su efectividad. Se deben implementar en casos en que los sistemas de bioretención o humedales artificiales no puedan considerarse por la disponibilidad de espacio.

### **Sistemas de bioretención**

Los sistemas de bioretención son perfiles vegetativos de capas de limo arcilloso, arena y grava de fácil adaptación a la disponibilidad de espacio, que capturan agua lluvia de la superficie. Estos tratan los afluentes a medida que estos se filtran por las capas de suelo. Los contaminantes son removidos gracias a la filtración y la captación de nutrientes.

Los sistemas de bioretención son dispositivos de tratamiento de agua lluvia comúnmente utilizados en nuevos desarrollos urbanos en el Sur Este de Queensland. Tanto una construcción exitosa y el permitir el tiempo adecuado de consolidación son necesarios para que el sistema establezca su comportamiento a largo plazo.

### **Humedales construidos**

Son cuerpos vegetativos poco profundos que remueven contaminantes del agua lluvia a través de alta sedimentación, filtración fina y captación biológica. Estas funciones emulan las de un humedal natural para lograr sus mismas funciones reguladoras de contaminación. Son combinaciones de suelo, vegetación acuática y agua lluvia. Su construcción y establecimiento pueden tener un grado de dificultad alto.

Son versátiles en su implantación. Pueden estar tanto dentro de la ciudad como en las afueras mientras mantengan unas características dimensionales adecuadas.

### **Pavimentos porosos**

Su principal uso es el de retrasar los picos en el volumen de escorrentía en episodios de lluvia, mediante su infiltración. En este proceso se pueden retener algunos contaminantes y sedimentos. Pueden implementarse en calles residenciales, vías comunes y aparcamientos.

### **Medidas de infiltración**

Son los mejores sistemas en suelos mediana o altamente impermeabilizados. Funcionan capturando agua de escorrentía y esparciéndola dentro del terreno alrededor del sistema. Por lo general estos sistemas se ubican al final de las cadenas de tratamiento para introducir el agua tratada en el subsuelo y ayudar en la recarga de acuíferos.

Los cuatro sistemas más representativos son: pozos con fugas, zanjas de infiltración, cuencas de infiltración y sistemas de infiltración por remojo.



## **4.5 Casos de estudio de gestión sostenible del agua e infraestructuras**

### **4.5.1 Metodología GIRHM (IWRM) a nivel de cuencas hídrica**

La cohesión social e institucional son una premisa en la gestión del territorio. La integración de aspectos sociales, administrativos, ambientales y económicos, en el desarrollo territorial es clave en las sostenibilidad de proyectos ambientales. En países donde la inequidad social y la falta de efectividad del poder ejecutivo son la razón de la fragmentación en las estructuras sociales, la participación se hace fundamental en la búsqueda del bienestar humano. En Perú, el Ministerio de Agricultura ha llevado a cabo un proyecto de reforestación en la microcuenca de Huaritambo, en el que la comunidad hace parte activa de tal labor, y obtiene beneficios económicos directos.

Es una metodología basada en criterios de sostenibilidad para el manejo de recursos hídricos a escala de cuenca, que compromete a los diferentes actores de tal territorio en el planeamiento y la toma de decisiones.

El agua está presente en todos los aspectos humanos y ambientales de un territorio. La sociedad, la cultura y sus economías, y los recursos naturales, están vinculados por el agua, y en la medida en que exista o no un equilibrio en la distribución, accesibilidad y calidad, un territorio presenta problemáticas en cualquiera de estos aspectos.

Tiene como propósitos promover el manejo coordinado del recurso entre actores, integrar los usos de suelo con los recursos hídricos, facilitar el intercambio de ideas y la participación entre los participantes.

El concepto de Manejo Integral de Recursos Hídricos (IWRM) tuvo inicio en la década de los años 30 del siglo pasado en Estados Unidos, pero fue a partir de la década de los 80 que tomó fuerza en respuesta a diferentes conflictos ambientales y sociales debido a los impactos que nuevas presiones estaban generando en temas de agua. Así, el concepto se presenta como una solución para asegurar una cantidad y calidad mínima necesaria para la salud humana y ambiental, siendo un concepto fuerte en la Conferencia de Desarrollo Ambiental de las Naciones Unidas en Río de Janeiro en 1992.

Tal objetivo, el de la seguridad del agua, solo puede alcanzarse si hay un pleno conocimiento de las necesidades y circunstancias sociales, políticas y económicas, de los actores y su territorio. Un resultado sostenible satisfactorio, depende de la equilibrada distribución entre usuarios.

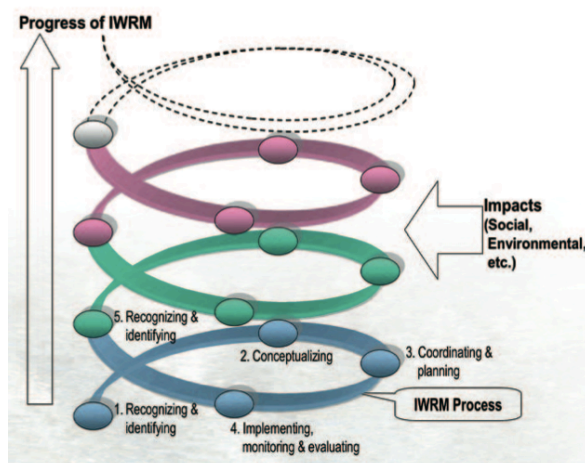
Ha demostrado ser una forma efectiva para la implementación coordinada de mecanismos para garantizar seguridad hídrica en circunstancias territoriales y sociales bastante diferentes. Su aplicación se viene extendiendo.

En gestión del riesgo y cambio climático, da importancia a la respuesta hidrológica en cantidad y calidad del recurso. Puede ayudar a prever impactos por cambio climático y anticipar la respuesta, mitigando futuras dificultades, mediante una buena coordinación en la implementación de prácticas de manejo hídrico.

#### **a. Conceptualización e implementación**

Se parte de la idea de cambio en las necesidades a lo largo del tiempo, y la aparición de nuevas demandas. Esto supone nuevos escenarios para la concertación, y la adaptación a nuevas circunstancias. Para ello la IWRM propone un modelo de conceptualización gráfica en espiral (Figura 11) que permite comenzar el proceso en cualquier punto, que admite al final de un proceso el comienzo de uno nuevo, siguiendo la misma línea evolutiva y permite ver gráficamente, la línea continua y consecuente de entre estadios.

Figura 11. Espiral conceptual IWRM



Fuente: IWRM, 2009

El proceso contempla una serie de condiciones que pueden ser o no, prerequisites, a la vez que objetivos a tratar. Estos son:

- Voluntad y compromiso político.
- Plan de manejo de cuenca y visión clara.
- Mecanismos que promuevan la participación y coordinación, y el compartir e intercambiar información.
- Capacidad de desarrollo.
- Marcos legales y de regulación, flexibles, bien definidos y viables.
- Plan de distribución de agua.
- Inversión adecuada, estabilidad económica y recuperación sostenible de costes.
- Buen conocimiento de los recursos naturales presentes en la cuenca.
- Monitoreo y evaluación rigurosos.

Los múltiples sectores socioeconómicos de una cuenca tienen objetivos claros y diferentes con un término en común: el agua. Es importante reconocer tales grupos de usuarios y sus objetivos para entender sus propósitos y mecanismos de gestión del recurso, para luego encontrar zonas comunes que representen oportunidades de convergencia. Tales sectores pueden ser el agrícola, hidroeléctrico, suministro de agua potable, servicio de saneamiento, e industrial, entre otros. Otros sectores relevantes son el medioambiental, y entidades gestoras de riesgo.

#### b. Etapas

- Reconocimiento e identificación. Se trata de una revisión del estado de actividades de manejo a nivel local, regional o nacional. Esto hará reconocer la necesidad de implementación de la metodología.
- Problemas y necesidades. Definición de prioridades de problemáticas a atender.
- Conciencia pública y rendición de cuentas. Fomento de la transparencia de procesos a la vez que se intercambia información.
- Desarrollo de la capacidad de liderazgo. Como elemento clave para que los líderes comunitarios se comprometan con el proceso, a la vez que se les da herramientas para transmitir ideas y coordinar actividades.

### **c. Conceptualización.**

En esta fase se analiza la estructura de la problemática y se pone en perspectiva junto con posibles acciones. De esta manera se pueden vislumbrar soluciones tentativas que sirvan de inicio al proceso concertación de acciones entre actores. Aspectos a estudiar:

- Valoración: seleccionando adecuadamente la información necesaria.
- Conceptualización: mediante procesos participativos en lo que se pueden identificar actores clave, y puntos de encuentro para la articulación con otros planes que se estén o hayan implementado.
- Borrador de planificación: permite la discusión entre actores sobre la coordinación y negociación de las posibles soluciones, en términos temporales concretos.

### **d. Coordinación y planeamiento detallado**

Esta fase concreta en acciones específicas previamente concertadas a llevar a cabo coordinadamente.

- Construcción de mecanismos de ejecución: para establecer un marco claro con tareas específicas y responsables con alto grado de credibilidad y compromiso.
- Coordinación: para la equitativa distribución de beneficios entre todos los grupos de actores de la cuenca, incluyendo al medio ambiente y sus ecosistemas.
- Acuerdos preliminares: donde se busque maximizar beneficios mediante acuerdos viables, asequibles y consensuados.
- Finalización del plan: distribuyendo las cargas financieras, y mirando a largo plazo, la implementación sostenible de infraestructuras.

### **e. Implementación, monitoreo y evaluación**

El objetivo de esta fase es llevar a cabo el compendio de acuerdos y actividades concertadas previamente, incluyendo acciones en marcos legislativos e implementación de infraestructuras.

- Implementación: agilizando lo más posible todos los procesos, incentivando una buena comunicación entre actores, y asegurando que la información técnica trascienda al manejo y operatividad de sistemas nuevos o mejoras.
- Monitoreo y evaluación: recolección y flujo continuo de datos entre actores responsables, a la vez que se evalúa la efectividad de las implementaciones. La evaluación permitirá registrar y analizar cambios en la cuenca en corto, mediano y largo plazo.

Como complemento se enfatiza en la importancia de articular las Políticas, estrategias nacionales, el marco legislativo y mecanismos facilitadores de financiación, al proceso, promoviendo la coordinación de sectores, encaminados dentro de las políticas gubernamentales.

La metodología tiene un fuerte componente social. Da bastante importancia a la articulación interinstitucional, gubernamental, ambiental y social, esto permite asociar problemas a lo largo y ancho de una cuenca a sectores de uso específico.

**Figura 12. Resumen conceptual metodología IWRM**



Fuente: Elaboración propia (referenciado en IWRM, 2009)

#### 4.6 Indicadores de sostenibilidad ambiental de los recursos hídricos

El desarrollo de indicadores ambientales y de desarrollo sostenible fueron impulsados inicialmente por iniciativas de cooperación internacional, y han avanzado enormemente en las últimas dos décadas. Los compromisos mundiales en temas ambientales como la Cumbre de la Tierra, han puesto en marcha la conceptualización y definición casi generalizada de indicadores ambientales para el monitoreo del avance en desarrollo sostenible. La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, con el fin de contribuir con el seguimiento de los compromisos pactados, creó la Comisión de Desarrollo Sostenible. Tal comisión llevó ideó metodologías e indicadores incipientes. Con la Agenda 21 el desarrollo de indicadores ambientales pasaron del ámbito académico al político-administrativo.

El marco analítico MPEIR (fuerza motriz, presión, estado, impacto, respuesta) inicialmente desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, y luego adoptado por el PNUMA, fue altamente difundido, mientras que algunos programas optaron por otros esquemas de análisis. Es importante resaltar que para que un sistema de indicadores sea eficaz en la recolección y comparación de información, es necesario que haya una continuidad y homogeneidad en la estructura analítica y de indicadores.

Sin embargo, parece que no hay un criterio consensuado para la definición conceptual de los indicadores. Desarrollo, sostenibilidad y medio ambiente, son términos que tienen connotaciones diferentes, y aplicados a indicadores, sus fines también lo son.

Para constatar qué tanta continuidad hay entre los criterios de evaluación ambiental y seguimiento de los programas para la protección y sostenibilidad del recurso hídrico, se revisaron los indicadores propuestos por el Reporte Mundial de Desarrollo de Recursos Hídricos de Naciones Unidas, el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, Indicadores Agencia Europea de Medio Ambiente, Indicadores Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, Metodología informes GEO ciudades, y los indicadores propuestos en el PIOM.

Los sistemas de indicadores revisados son tanto de evaluación de recursos naturales, como de seguimiento de los programas implementados. Aunque los fines son diferentes, dada la discontinuidad y singularidad de las escalas y unidades legislativas, se optó por hacer una compilación generalizada de los indicadores de recursos hídricos para encontrar líneas comunes o puntos de discontinuidad.

#### **4.6.1 Indicadores World Water Development Report de las Naciones Unidas**

“El agua, una responsabilidad compartida” es el nombre del segundo informe sobre desarrollo de recursos hídricos de en el mundo, publicado en 2006. El informe pretende ser una herramienta para el desarrollo e implementación de políticas y planes de gestión de recursos hídricos a nivel de naciones, ilustrando todos los aspectos que implica la gestión del recurso hídrico.

El informe parte de la realidad cambiante de las sociedades del mundo, y por lo tanto, las dificultades de comunidades humanas para asumir una constante universal como lo es la dependencia humana y medioambiental del recurso hídrico, en medio de una crisis del agua generalizada a nivel mundial, pero que afecta directamente a las poblaciones más vulnerables.

La gobernabilidad del agua, el crecimiento demográfico y urbano, los conflictos armados y políticos, la globalización, la tecnología, y los regímenes económicos, son aspectos cruciales que condicionan o facilitan el acceso a servicios de abastecimiento de agua potable, saneamiento, protección y conservación de recursos hídricos.

#### **Los objetivos del milenio**

En la Cumbre del Milenio de la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2000 se establecieron los Objetivos de Desarrollo del Milenio, que se pretenden cumplir a través del compromiso de las naciones en el alcance de metas de aplicación local. A continuación se enuncian los ocho Objetivos:

- Erradicar la pobreza extrema y el hambre.
- Lograr la enseñanza primaria universal.
- Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer.
- Reducir la mortalidad infantil.
- Mejorar la salud Materna.
- Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.
- Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.
- Fomentar una asociación mundial para el desarrollo.

En el año 2005, la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible estableció unas prioridades políticas para temas de agua y saneamiento y los asentamientos humanos. De esta manera, se introdujo el concepto de integralidad al manejo del recurso hídrico. Su repercusión se espera a que llegue a quienes su preocupación básica es la de una vivienda digna con acceso a los servicios mínimos de abastecimiento. La Comisión hizo énfasis en la importancia de incrementar las inversiones en el servicio de saneamiento en zonas necesitadas, dando prioridad a aquellos lugares que propicien mayor impacto como lugares de trabajo, educación, e instituciones sanitarias.

Un equipo de Tareas del Milenio determinó cinco principios rectores y diez acciones críticas para impulsar los procesos que llevarán a cumplir los Objetivos del Milenio relacionados con agua y saneamiento. Dentro de estos principios y acciones se resaltan para el caso de este trabajo<sup>§</sup>:

---

<sup>§</sup>Fuente: Health, dignity, and development: what will it take?

### **Principios rectores**

- Debe existir un reconocimiento expreso de que el saneamiento básico en particular requiere una movilización de la comunidad y acciones que apoyen y fomenten dicha movilización.
- Debe existir una planificación e inversión deliberadas para una gestión sólida de los recursos y las infraestructuras hídricas.

### **Acciones críticas**

- Los Gobiernos y otras partes concernidas deben colocar la crisis de saneamiento en lo más alto de sus agendas.
- Los países deben asegurar que las políticas e instituciones, tanto para el suministro de agua y el saneamiento, como para la gestión y el desarrollo de los recursos hídricos, responden equitativamente a los diferentes roles, necesidades y prioridades de hombres y mujeres.
- Las acciones para alcanzar los objetivos relacionados con el agua y el saneamiento deben centrarse en la provisión de un servicio sostenible, y no sólo en la construcción de infraestructuras.
- Los Gobiernos y las agencias donantes deben garantizar que las autoridades y las comunidades locales tengan la autoridad, los recursos y la capacidad profesional necesarios para gestionar el suministro de agua y la provisión de un sistema de saneamiento.
- Dentro del contexto de las estrategias nacionales de reducción de la pobreza basadas en los ODM, los países deben producir unos planes coherentes de desarrollo y gestión de los recursos hídricos que fomenten la consecución de los ODM.
- Los Gobiernos y su sociedad civil y los socios del sector privado deben apoyar un amplio abanico de tecnologías y niveles de servicios hídricos y de saneamiento que resulten apropiados desde un punto de vista técnico, social, medioambiental y financiero.
- Debe proporcionarse innovación institucional, financiera y tecnológica en las zonas estratégicas.

### **Indicadores del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)**

En el año 2000 la ONU estableció este programa con el fin de evaluar el progreso de las metas fijadas en los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Su objetivo era identificar y desarrollar indicadores de amplia cobertura, que permitieran una aplicabilidad generalizada tanto entre regiones como entre países, y así lograr una fácil evaluación de avances y comparación. De esta manera, los países pueden recoger información del estado de sus recursos en un mismo formato para facilitar su evaluación interna, y consolidar indicadores que permitan comparar avances con respecto a otras naciones.

Los indicadores ayudan a las partes interesadas (stakeholders) a obtener una imagen concisa del estado de los recursos, para analizar y tomar decisiones sobre las políticas implementadas, la formulación de planes, y la programación de recudo fiscal. Conocer el estado de los recursos hídricos y las urgencias a atender, y hacer un seguimiento de los cambios, permite planear acciones e inversiones precisas, con objetivos y resultados mensurables.

La WWAP con ayuda de expertos de universidades, organizaciones no gubernamentales, e instituciones afines, ha consolidado 63 indicadores ajustados al marco de análisis MPEIR, divididos en cuatro categorías que se describen a continuación:

- Básicos. Ofrecen información sustancial no necesariamente vinculada a objetivos.
- Clave. Relacionados con los objetivos políticos y criterios de la UNESCO.
- En desarrollo. Importantes, pero sin consolidarse aún como indicadores clave.
- Conceptuales. Importantes, pero precisan de bastante trabajo metodológico para llegar a ser Clave.

**Tabla 4. Indicadores WWAP**

Área de desafío	Indicador	Aspecto MPEIR	Estado desarrollo del indicador
Global	Índice de uso insostenible del agua	R	K
	Población urbana y rural	M	B
	Índice de estrés hídrico relativo	E/P	K
	Uso doméstico e industrial del agua	M	B
	Índice de contaminación del agua	P	K
	Índice de eficiencia de retención de sedimentos	P	K
	Índice de humedad climática	M	K
	Índice de reutilización del agua	P	K
Gobernabilidad	Acceso a la información, participación y justicia	R	M
	Progreso hacia la implementación de la GIRH	R	K
Asentamientos	Índice de ejecución de infraestructuras hidráulicas	E	D
	Índice de gobernabilidad del agua y del saneamiento en zonas urbanas	E	D
	Perfil de barrios de asentamientos precarios en los asentamientos humanos	P	D
Recursos	Precipitación anual	M	B
	Volumen Total Actual de Recursos Hídricos Renovables (TARHR)	E	K
	TARHR per cápita	E	D
	Agua superficial como % del TARHR	E	D
	Desarrollo del agua subterránea (como % del TARHR)	E	K
	Solapamiento como porcentaje del TARHR	E	D
	Caudal afluente como % del TARHR	E	D
Uso total como % del TARHR	E	D	
Ecosistemas	Fragmentación y regulación del caudal de los ríos	E/I	K
	Nitrógeno disuelto (NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	E	K
	Tendencias en la protección de los hábitats de agua dulce	E/R	K
	Tendencias en las poblaciones de especies de agua dulce	E	K
	Demanda biológica de oxígeno (DBO)	E	K
Salud	Años de Vida Ajustados en función de la Discapacidad AVAD	I	K
	Prevalencia de niños menores de 5 años de peso inferior al normal	I	D
	revalencia de niños menores de 5 años con retraso en el crecimiento	I	D
	Mortalidad en niños menores de 5 años	I	D
	Acceso a un agua potable segura	E	K
	Acceso a unas condiciones de salubridad básicas	E	K
Agricultura	Porcentaje de personas desnutridas	E	K
	Porcentaje de personas pobres que viven en zonas rurales	E	K
	Importancia relativa de la agricultura en la economía	E	K
	Tierras irrigadas como porcentaje de las tierras cultivadas	E/P	K
	Importancia relativa de la extracción de agua para la agricultura en el balance hídrico	P	K
	Área de tierras salinizadas por el riego	E	K
	Importancia de las aguas subterráneas en la irrigación	E/P	
Industria	Tendencias en el uso industrial del agua	P	K
	Uso del agua por sector	E	K
	Generación de contaminación orgánica por parte del sector industrial	I	K
	Productividad del uso industrial del agua	R	K
	Tendencias en la certificación ISO 14001, entre 1997 y 2002	R	K
Energía	Capacidad de generación de energía hidroeléctrica, 2002	E	K
	Acceso a la electricidad y al agua para uso doméstico	E	K

	Generación de electricidad mediante combustible, 1971-2001	E	K
	Suministro total de energía primaria por combustible, 2001	E	K
	Intensidad de carbono en la producción de electricidad, 2002	E	K
	Volumen de producción de agua desalinizada	R	K
Riesgo	Índice de riesgo de catástrofe	E	K
	Índice de vulnerabilidad climática	P	K
	Índice de evaluación de riesgos y de políticas	R	K
Uso compartido	Indicador de interdependencia hídrica	E	C
	Indicador de cooperación	E	C
	Indicador de vulnerabilidad	E	C
	Indicador de fragilidad	E	C
	Indicador de desarrollo	E	C
Valoración	Proporción del sector hídrico en el total del gasto público	E	D
	Relación entre el nivel real y el pretendido de inversión pública en abastecimiento de agua	P	D
	Índice de recuperación de costes	E	D
	Gastos en agua como porcentaje del total de ingresos domésticos	P	D
Conocimiento	Índice del conocimiento	E	D

Fuente: WWAP,

#### 4.6.2 Indicadores Agencia Europea de Medio Ambiente

En el año 2003 la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), publicó un informe del estado de los recursos hídricos en el territorio que comprende la Unión Europea, la Asociación Europea de Libre Comercio, y países en proceso y candidatos de aquel entonces. El informe evalúa tanto la calidad como la cantidad del agua según 57 indicadores, con el fin de dar cuenta del cumplimiento de objetivos y políticas en temas de agua implementadas por la UE.

La Directiva Marco de la Unión Europea (del año 2000) estableció unos objetivos a 15 años que, aplicados de manera generalizada en el ámbito europeo, han cambiado la manera de evaluar y gestionar el agua. Tal legislación busca prevenir y reducir la contaminación del agua, fomentar su uso sostenible, garantizar la protección de entornos acuáticos naturales y terrestres asociados, mejorar el estado de los ecosistemas acuáticos y prevenir y mitigar los efectos de inundaciones y sequías, salvaguardando la salud humana, a través de medidas de gestión y protección que todos los países miembros deben adoptar y fomentar.

La directiva introduce dos conceptos fundamentales para la evaluación y gestión del recurso hídrico: Estado Ecológico, y Plan Hidrológico de Cuenca. La introducción de tales conceptos crea una asociación directa entre la gestión y planificación territorial en ámbitos delimitados por unidades hidrológicas como las cuencas, con los ecosistemas inherentes y sus servicios.

Por su relevancia y representatividad, la AEMA seleccionó 57 indicadores agrupados en cuatro categorías enmarcadas en el marco analítico FPEIR\*\*. Esta metodología de análisis permite hacer una evaluación integral del estado y evolución del agua y medidas implementadas.

Los indicadores hacen parte de un grupo más amplio de siete aspectos ambientales para los cuales la AEMA ha desarrollado y/o agrupado indicadores específicos de evaluación: Contaminación del Aire, Biodiversidad, Cambio Climático, Medio Ambiente Terrestre, Residuos y Ciclo de Materiales, y Agua.

\*\* Este marco conceptual también se conoce como MPEIR



### **a. Calidad ecológica**

Los cuerpos y masas de agua son medios en los que una gran variedad de ecosistemas se desarrollan. Componentes bióticos y abióticos habitan en constante interacción un mismo espacio. Plantas y animales dependen directamente de agentes químicos y físicos del medio, del cual se valen para su subsistencia y al cual aportan funciones que aseguran la estabilidad de los sistemas.

Los lagos, ríos, estuarios y mares, albergan comunidades de seres vivos que son sensibles en cantidad a los cambios físicos y químicos del medio. Y no solamente las variaciones en la composición química o perturbaciones físicas representan presiones sobre las poblaciones vivas, sino también la introducción de especies foráneas pueden alterar los ecosistemas.

Estos indicadores permiten evaluar objetivos sobre el buen estado ecológico y químico según la legislación europea.

- Longitudes de ríos por debajo de la calificación Buena en clasificaciones nacionales.
- Lagos por debajo de la calificación Buena en clasificaciones nacionales.
- Aguas de transición y costeras por debajo de la calificación Buena en clasificaciones nacionales.
- Progresos en la aplicación de la Directiva Marco del Agua.
- Especies no autóctonas en ríos y lagos.
- Especies no autóctonas en aguas costeras y de transición.
- Pérdida de hábitats en aguas costeras y de transición.
- Impacto ambiental de actividad pesquera.

### **b. Nutrientes y contaminación orgánica**

Los cambios en cantidad y contenido de carga de nutrientes de medios acuáticos puede generar cambios en poblaciones como algas, aumentando su población en niveles peligrosos para la estabilidad de los ecosistemas. Tales cambios pueden repercutir en cambios en plantas y animales, y en la misma calidad del agua, dejando al recurso no apto para consumo humano, recreo o pesca.

Las concentraciones de nutrientes son producidas principalmente por vertidos directos al medio natural, vertidos de aguas de plantas depuradoras, efluentes industriales y escorrentías en suelos agrícolas.

En general, las políticas europeas en este tema buscan:

- Prevenir un deterioro adicional protegiendo y mejorando el estado de los ecosistemas acuáticos, y evitando nuevos focos de contaminación.
- Garantizar la calidad de agua potable y de baño suficiente para evitar riesgos en la salud humana.
- La reducción progresiva de cargas antrópicas de contaminantes que puedan causar efectos en las concentraciones de oxígeno o eutrofización.

La directiva busca la reducción de las presiones de los sectores socioeconómicos, en particular los hogares, la industria y la agricultura. Las observaciones han permitido determinar las mejoras la calidad de cuerpos de agua por control de vertidos, como el descenso en las concentraciones de fósforo, y carga orgánica en río y lagos, así como ha disminuido la turbidez. Por otro lado, las altas concentraciones de nitrato en el momento de elaboración del informe no habían presentado cambios representativos en ríos y acuíferos de Europa.

Los indicadores permiten deducir que las medidas aplicadas al tratamiento de aguas urbanas, y a los usos industriales y agrícolas, han tenido buenos resultados en las descargas de materia orgánica y fósforo, y en menor medida en la concentración de nitrógeno. También se pudo observar que la estructura socioeconómica de los países candidatos a la UE marcaba diferencia. El tratamiento de aguas residuales es mucho menor en estos países, lo cual se refleja en las concentraciones de nutrientes y amonio, mientras que en los países comunitarios donde la agricultura es más intensiva, la cantidad de nitratos es elevada y está presente de manera generalizada. A continuación se enuncian los indicadores:

- Nitrato en acuífero.
- Carga de materia orgánica en ríos.
- Carga de nutrientes en ríos.
- Carga de nutrientes en aguas de transición y costeras.
- Descargas de materia orgánica de fuentes puntuales.
- Fosforo en lagos.
- Carga de nutrientes vertidos en mares.
- Deposición atmosférica de nitrógeno en aguas costeras y marinas.
- Desarrollo de tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Uso de fertilizantes.
- Cabezas de ganado.
- Superávit de nitrógeno en suelos agrícolas.
- Contaminación microbiológica en agua potable.
- Nitrato en agua potable.
- Calidad del agua de baño.
- Transparencia de lagos.
- Clorofila en aguas marinas y costeras.
- Fitoplancton perjudicial en zonas costeras.
- Concentración de oxígeno en capas profundas de aguas marinas.
- Implementación de directivas en tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Implementación de directivas sobre nitrato.

### **c. Sustancias peligrosas**

Como dato interesante, la producción mundial anual de productos químicos ha aumentado en cuatrocientas veces en los últimos ochenta años. Así como tal cantidad representa un soporte económico estable y creciente, sus usos y manejo, no lo son para el medio ambiente, y la salud pública. Muchas de esas sustancias son depositadas en medios acuáticos en las diferentes fases de su ciclo, ya sea en producción, transporte, uso o desecho, y representan amenazas directas o potenciales para la salud humana y de los ecosistemas.

Estas sustancias están definidas como aquellas que sean tóxicas, persistentes y bioacumulables, o que su presencia genere un nivel equivalente de preocupación. Tales sustancias como pesticidas y metales pesados entre otros, se han encontrado a lo largo, ancho y profundo de ríos, lagos, acuíferos y mares europeos en concentraciones elevadas.

Desde los años setentas se vienen controlando algunas sustancias peligrosas, disminuyendo su presencia en el medio natural. Sin embargo, a pesar de la disminución de concentraciones tales como las de metales pesados, aún se siguen rebasando los límites de la norma. En mejillones y peces del atlántico y principales cauces europeos se han detectado concentraciones muy por encima de las permitidas para consumo humano.

El alto y estable consumo de pesticidas durante la década de los noventa, se evidenció en aguas superficiales y subterráneas que por sus concentraciones representan un problema para el suministro de agua potable. Es de señalar que así como para el caso de los nutrientes, en países candidatos, los consumos y concentraciones eran menores.

La producción, transporte y vertidos ilegales de hidrocarburos en los mares Negro, del Norte y Báltico, han sido el foco de preocupación. Mientras que en el Báltico y el Norte se han podido controlar vertidos, mostrando una aparente estabilidad, el mar Negro está altamente contaminado.

Un factor emergente es del de concentraciones de sustancias endocrinas en medios acuáticos. Tal presencia ha sido asociada con trastornos sexuales de animales acuáticos. A continuación se enuncian los indicadores:

- Metales pesados en ríos.
- Sustancias peligrosas en lagos.
- Carga de sustancias peligrosas en mares.
- Fuentes de descargas de metales pesados en el Mar del Norte.
- Fuentes de descargas de sustancias orgánicas.
- Consumo de pesticidas.
- Derrames accidentales de barcos en zonas marinas.
- Descargas ilegales de petróleo en altamar.
- Descargas de petróleo de refinerías e instalaciones mar adentro.
- Sustancias peligrosas en agua potable.
- Incumplimiento de estándares europeos de calidad ambiental.
- Pesticidas en aguas superficiales y subterráneas.
- Sustancias peligrosas en organismos marinos.
- Efectos biológicos de sustancias peligrosas en organismos.

#### **d. Cantidad del recurso hídrico**

Las perspectivas generales a largo plazo para disponibilidad de agua no son alarmantes. Pero en una escala de tiempo más corta la demanda puede exceder la disponibilidad durante periodos más prolongados en zonas demográficamente densas y con regímenes de lluvia bajos, como es el caso del sur de Europa.

La agricultura, la industria y el consumo doméstico se ven afectados estacionalmente, con los inminentes efectos que puede acarrear el cambio climático, por la falta de un consumo y suministros más eficientes. La sobreexplotación para satisfacer tales demandas han causado intrusión de agua salina en acuíferos y desecación de área naturales.

Las presiones principalmente provienen de los sectores turístico, industrial, doméstico, hidroeléctrico, y agrícola, siendo este último, junto con el turismo, bastante representativos en países del sur europeo. Los impactos que han generado se notan en la disminución de niveles en acuíferos, con efectos sobre poblaciones biológicas y ecosistemas superficiales. A continuación se enuncian los indicadores:

- Disponibilidad de agua.
- Índice de explotación hídrica.
- Total de aguas extraídas.
- Índice de consumo de agua.
- Uso del agua por sectores.
- Uso agrícola del agua.
- Uso doméstico del agua.
- Reservas totales en depósito.
- Intrusión de agua salada.
- Niveles de acuíferos.
- Precios del agua.
- Uso eficiente del agua.

- Fugas en redes

#### 4.6.3 Metodología MPEIR de GEO Ciudades

Es un marco de análisis desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente fuerzas motrices - presión - estado - impacto – respuesta (FPEIR), para analizar las interacciones entre las actividades socioeconómicas y el medio ambiente. Parte de la base de que el desarrollo social y económico origina presiones en el medio, que a su vez generan cambios en el estado de éste. Como consecuencia, se hacen visibles impactos de diferentes índoles, a los cuales una comunidad responde. Tales respuestas buscan eliminar o reducir esas presiones e impactos, para restaurar y recuperar el estado previo del medio.

En síntesis, este marco analítico ha sido bastante difundido en el mundo por sus ventajas:

- Se trata de un análisis sencillo e intuitivo cuando se centra en un solo tema.
- Considera los aspectos humanos y medioambientales como conceptos interrelacionados.
- Integra temas sociales – ambientales – económicos complejos analizando el impacto ambiental del bienestar humano.
- Aporta articulación intersectorial.

El proceso debe responder a las siguientes preguntas:

- Estado, ¿Qué le ocurre al medio ambiente?
- Fuerzas motrices y presión ¿Por qué está ocurriendo?
- ¿Cuál es el impacto generado?
- Respuesta ¿Qué se está haciendo?
- Perspectivas ¿Qué puede ocurrir de no hacer nada? y ¿Qué se puede hacer para revertir el estado actual?

---

#### **Cuadro 6. Componentes de la matriz**

##### Fuerzas motrices

Comprenden aquellos procesos básicos de la sociedad que promueven actividades que indirectamente afectan al medio ambiente. Dentro de estas fuerzas se encuentran la demografía, los hábitos de consumo, la producción, la innovación científica y tecnológica, la economía, los mercados, y el comercio entre otros.

El peso o importancia de tales fuerzas varían entre regiones y entre países. Las naciones tienen diferentes dinámicas internas que definen áreas de estabilidad, y aspectos débiles, que a la vez cambian internamente entre regiones, lo que hace importa la definición de un ámbito claro de estudio concreto.

##### Presión

Son las fuerzas económicas y sociales tales como el aumento demográfico, el consumo o la pobreza, que pueden no ser evidentes pero que son determinantes. En la formulación de políticas, constituye el punto de partida para enfrentar los problemas ambientales.

##### Estado

Representa la condición actual del medio ambiente, entendido como una consecuencia de las presiones.

##### El impacto

Describe los efectos que pueden suceder como consecuencia del estado del medio ambiente

##### Las respuestas

Son todas aquellas acciones dirigidas a evitar o corregir impactos no deseados o dañinos para el medio ambiente, y que pueden mejorar las condiciones de vida de una comunidad. Estas acciones pueden ser de diferente índole como participación, mejoras en normativas, y cambios de enfoques o políticas administrativas, entre otros.

##### Perspectivas

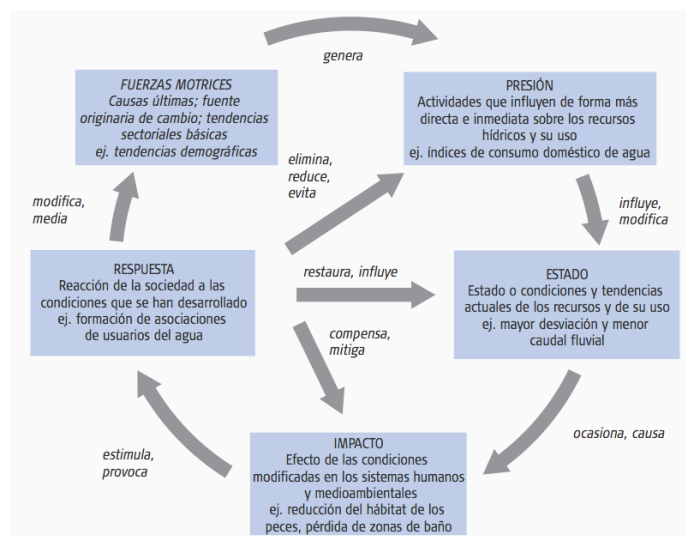
Aunque no entran dentro de la matriz, tener en cuenta posibles escenarios futuros puede permitir una planeación

---

más estratégica. Esto permitirá mayor flexibilidad en el tiempo para la corrección de posibles eventos.

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

**Figura 13. Esquema MPEIR**



Fuente: UNESCO, 2006

En síntesis, es un instrumento para ordenar y agrupar los factores que afectan al medio ambiente, los efectos en los ecosistemas producidos por las acciones antrópicas, la repercusión en la salud y el medio natural, y las medidas tomadas por parte de los colectivos. También permite evaluar las dinámicas de interacción, lo que es importante para el factor respuesta

#### 4.6.4 Metodología informes GEO ciudades

GEO Ciudades es un proyecto del PNUMA que inició en noviembre de 2001 con siete ciudades piloto de América Latina y el Caribe, para la evaluación ambiental de centros urbanos que busca un mejor entendimiento de las dinámicas urbanas y su repercusión en el medio ambiente, mediante la generación de información confiable y actualizada sobre las ciudades. El público de tales informes son las municipalidades, desarrolladores de políticas, científicos, y público en general interesado. El proyecto busca:

- Reconocer los vínculos que existen entre las condiciones ambientales y las actividades humanas, en especial aquellas relacionadas con el desarrollo urbano.
- Contribuir en la formación de capacidades técnicas locales para la evaluación integral del estado del medio ambiente urbano.
- Orientar la creación de consenso sobre los problemas ambientales más críticos en cada ciudad, fomentando el diálogo y la participación de todos los sectores de la sociedad en el proceso de la toma de decisiones.
- Hacer posible la formulación e implementación de estrategias y planes urbanos para ayudar a las ciudades a mejorar la gestión ambiental urbana.
- Promover la creación de redes institucionales en la ciudad.<sup>††</sup>

<sup>††</sup> Tomado textualmente de [www.pnuma.org/deat1/urbanas.html](http://www.pnuma.org/deat1/urbanas.html)

Los informes Geo Ciudades son reportes medioambientales o Evaluaciones Ambientales Integrales que describen el estado medioambiental de ciudades concretas dentro del marco de la sostenibilidad y los Objetivos del Milenio. Está pensada para analizar las consecuencias de la implementación de políticas en medio ambiente, y agilizar y mejorar la toma de decisiones, garantizando una mayor comprensión y claridad a técnicos ambientales y políticos.

El análisis incluye los aspectos sociales, económicos, políticos y territoriales propios de una municipalidad, y los analiza bajo la metodología MPEIR para la comprensión de las incidencias del desarrollo urbano y el medio ambiente. La interacción de estos dos últimos factores genera unas presiones sobre los recursos naturales, que determinan un estado medioambiental, que es el objeto de análisis de los informes.

Para los informes GEO Ciudades, la metodología MPEIR es la referencia de los indicadores utilizados. Así, definido el indicador de presión, los otros indicadores siguen la misma relación de causa. Esto permite hacer un vínculo lógico entre los componentes y enfocar el análisis en los factores de presión que se consideran como las “causas” del estado.

Los indicadores están divididos en cinco categorías:

**a. Indicadores fundamentales:**

Son indicadores MPEIR para evaluar el estado del medio ambiente. Son esenciales para el análisis de estado.

**b. Indicadores sustitutos**

Se utilizan cuando los indicadores fundamentales no están actualizados o disponibles. Permiten hacer una idea aproximada de las características necesarias.

**c. Indicadores locales**

Son indicadores propuestos por los técnicos desarrolladores. Su empleo se fundamenta en los siguientes principios:

- Pertinentes y necesarios. Se recomienda la inclusión de información concreta, descartando los excesos que puedan afectar la claridad de los objetivos buscados.
- Precisión y claridad en formulación.

**d. Indicadores nuevos**

Son indicadores propuestos que se adaptan a las nuevas circunstancias o contextos de las ciudades.

**e. Indicadores transversales**

Se utilizan para hacer análisis transversales de los diferentes aspectos ambientales de los informes, en cualquiera de las dimensiones MPEIR.

**Figura 14. Interacción de los componentes urbano-ambientales de la matriz MPEIR**



Fuente: PNUMA, 2008

### Ámbito de los indicadores

El alcance territorial de estos informes debe hacerse de manera conjunta entre las municipalidades y los agentes técnicos, ya que está supeditado a los alcances e intereses de gestión de las políticas locales.

La definición de áreas de evaluación resulta un punto delicado. La jurisdicción, los límites urbanos y rurales, el impacto más allá de las fronteras de las presiones urbanas, resultan variables complejas para lograr acuerdos de responsabilidad. Por tal motivo, la metodología recomienda la definición concertada del ámbito de estudio.

### La evaluación GEO Ciudades y el ámbito rural.

En muchos casos de América Latina y el Caribe, los límites municipales no necesariamente coinciden con los límites administrativos, por la amplitud de sus zonas rurales, como es el caso de Medellín, y la Microcuenca Santa Elena, donde el suelo urbano representa 27,14% de la superficie. Por tal motivo, la evaluación debe incluir la correlación entre ambos ámbitos territoriales.

La sugerencia por parte de la metodología es la incorporación de indicadores de la dinámica rural en la evaluación. Algunos ejemplos son: el crecimiento y migración de la población rural, el grado de concentración y tamaño de terrenos, la demanda de agua y suelo, su efecto sobre la cobertura vegetal, su impacto sobre la biodiversidad, el uso de insumos agrícolas como fertilizantes y plaguicidas, los conflictos sociales y relación con los diferentes niveles de mercados de análisis, entre otros. A continuación se enuncian los indicadores:

<b>Tabla 5. Indicadores GEO ciudades</b>				
<b>Indicador</b>	<b>Tipo de indicador según Marco MPEIR</b>			
	<b>Presión</b>	<b>Estado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Respuesta</b>
<b>1. Agua</b>				
Reducción de la cubierta vegetal	x			
Superficie y población en asentamientos urbanos	x			
Cambio de suelo de no urbano a urbano	x			
Crecimiento de la población	x			
Índice de Gini, desigualdad social	x			
Volúmen total de aguas residuales no tratadas	x			
Consumo de agua per capita	x			

Especies extintas o en peligro, conocidas			x		
Escasez de agua (frecuencia, extensión, duración)			x		
Calidad agua de abastecimiento			x		
Ecosistema: Pérdida de biodiversidad.				x	
Economía urbana: Costo en salud pública debido a enfermedades de vinculación hídrica.				x	
Nivel político institucional: Pérdida de atractivo urbano.				x	
Calidad de vida: Incidencia de enfermedades de vinculación hídrica.				x	
Educación ambiental.					x
Número de ONGs ambienta- listas a nivel local.					x
Actividades de Agenda21 local.					x
Inversión en recuperación ambiental.					x
Plan maestro urbano.					x
Inversión en áreas verdes					x
Legislación para protección de manantiales					x
Sistema de tributación contaminante pagador/usuario pagador.					x
Inversión en redes de drenaje y alcantarillado					x
Relaciones domiciliarias					x
<b>2. Suelo</b>					
Reducción de la cubierta vegetal.		x			
Superficie y población en asentamientos urbanos autorizados y no autorizados		x			
Cambio de suelo de no urbano a urbano		x			
Crecimiento de población.		x			
Índice de Gini, desigualdad social		x			
Producción de residuos sólidos		x			
Disposición de residuos sólidos		x			
Especies extintas o en peligro, especies conocidas		x			
% áreas geológicamente inestables, de riesgo			x		
Sitios contaminados			x		
Ecosistema:	Pérdida de biodiversidad.			x	
Economía urbana:	Depreciación inmobiliaria.			x	
	Gasto obras de contención y prevención de riesgos ambientales.			x	
Nivel político institucional:	Pérdida en recaudación de impuestos.			x	
	Pérdida de atractivo urbano			x	
Calidad de vida:	Incidencia de enfermedades por intoxicación y contaminación			x	
	Población en áreas urbanas vulnerables			x	
	Incidencia de inundaciones, deslaves, etc.			x	
Educación ambiental.					x
Número de ONGs ambientalistas a nivel local.					x
Actividades de Agenda21 local.					x
Inversión en recuperación ambiental.					x
Plan maestro urbano.					x
Inversión en áreas verdes.					x
Inversión en gestión de residuos sólidos.					x
Total de áreas rehabilitadas en relación con las degradadas.					x
Notificaciones preventivas y multas por violar normas de disposición de residuos.					x
<b>3. Ambiente construido</b>					
Crecimiento población.		x			
Índice de desigualdad social		x			
Emisiones de gas que producen lluvia ácida.		x			
% áreas deterioradas (centros y edificios históricos) en relación con el total del área local construida			x		
Economía urbana:	Depreciación inmobiliaria.			x	
	Gasto por rehabilitación de monumentos y centros históricos.			x	
Nivel político institucional:	Pérdida en recaudación de impuestos.			x	
	Pérdida de atractivo urbano			x	



Calidad de vida:	Deterioro de centros históricos.			x	
	Índice de delincuencia juvenil.			x	
Educación ambiental.					
Número de ONGs ambientalistas a nivel local.					
Actividades de Agenda21 local.					
Inversión en recuperación ambiental.					
Plan maestro urbano.					
Inversión en áreas verdes					

Fuente: Metodología GEO Ciudades, 2011

## 4.7 Recursos hídricos en Colombia

Colombia es considerada como potencia mundial hídrica, sin embargo este apelativo sólo se basa en la cantidad de agua circulando. Garantizar una cobertura total de agua potable, el buen uso y eficiencia en la explotación y consumo, la protección de las fuentes y cuerpos de agua, la seguridad, y la calidad, son aspectos que podrían hacer de Colombia un país rico en recursos hídricos por su preservación y manejo, sin embargo los indicadores dicen más del uso insostenible que se hace. Colombia no es potencia hídrica, pero tiene un gran potencial.

### 4.7.1 Demanda hídrica total nacional

La demanda hídrica nacional discriminada por sectores de consumo en 2008 se calculó en 35.877 Mm<sup>3</sup>. Se espera que para el 2019 se duplique y alcance un orden de 70.551 Mm<sup>3</sup>.

Tabla 6. Demanda hídrica nacional colombiana. Estudio Nacional del Agua.

Usos del agua	Demanda 2008		Demanda estimada 2019		Incremento
	Total Mm <sup>3</sup>	Porcentaje	Total Mm <sup>3</sup>	Porcentaje	Porcentaje
Servicios	528	1,47%	797	1,13%	51%
Industria	1577	4,34%	2584	3,76%	42%
Pecuario	2220	6,19%	6885	9,76%	210%
Acuícola	2584	7,2%	8316	11,79%	222%
Doméstico	2626	7,32%	2961	4,20%	13%
Energía	6976	19,44%	10893	15,44%	56%
Agrícola	19386	54,03%	38115	54,02%	97%
<b>Total</b>	<b>35877</b>	<b>100%</b>	<b>70551</b>	<b>100%</b>	

Fuente: IDEAM, 2008

Las variaciones entre las estimaciones de 2008 y la proyección a 2019, en el caso del sector pecuario y acuicultura, se explican por las tendencias en el crecimiento del sector bovino principalmente, en cabezas de ganado y en cantidad de sacrificios.

Las tendencias de crecimiento de las exportaciones en el sector acuícola explican el resultado para este.

Los otros sectores no muestran un crecimiento de las proporciones de los dos anteriores. Por tal motivo se puede decir que el comercio mundial es una fuerza motriz en las presiones futuras en el medio ambiente como la calidad del agua, y los cambios de régimen en los usos y coberturas del suelo.

Colombia es uno de los países con mayor oferta hídrica a nivel mundial debido a sus regímenes de lluvia, su orografía y posición geográfica, con un rendimiento promedio de 63l/s km<sup>2</sup> (10 l/s km<sup>2</sup> a nivel mundial y 21 l/s km<sup>2</sup> en América Latina). Está constituida por cinco áreas hidrográficas en las que está dividido el territorio nacional, por las cuales fluyen 71.800 m<sup>3</sup>/s, producto de la escorrentía (61%) de los 3.700 km<sup>3</sup> de agua de lluvia anual

(IDEAM, 2010). El volumen de agua depositada en acuíferos equivale a 70 veces la escorrentía superficial.

Tal cantidad de agua no está distribuida de igual manera en todas las regiones del país. Hay zonas como el Chocó y la Amazonía con los más altos niveles pluviales, mientras que en la Zona del Caribe, Chicamocha, y otros, el promedio está muy por debajo de la media.

A pesar de tal volumen de agua circulando en el territorio, en muchas partes no se puede disponer del recurso por su calidad, principalmente. En ríos importantes por sus contextos urbanos como el Bogotá, el Aburrá, el Pance y en Otún entre otros, a pesar de haber caudales constantes, no se puede aprovechar ni un mínimo de caudal por el grado de contaminación. Por otra parte, la intensidad de la actividad agropecuaria ha alterado o destruido cuerpos de agua importantes para las regiones como humedales, ciénagas y otros, en el Alto Cauca, en el Bajo Sinú, y el río Meta, entre otros (Marín, 2002).

#### **4.7.2 Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia**

Es un documento que define los objetivos, las estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en Colombia. El proyecto es liderado por el Viceministerio de Ambiente Dirección de Ecosistemas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Es el resultado del trabajo coordinado de 3 años entre el Ministerio, el Departamento Nacional de Planeación -DNP y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, junto con otras entidades. Durante este periodo instituciones internacionales como la Agencia de Cooperación Técnica Alemana, Embajada del Reino de los Países Bajos en Colombia, y la UNICEF, e instituciones nacionales como las Corporaciones Regionales, participaron en la elaboración del documento.

Es un compendio de directrices unificadas, que nace como línea de acción en el capítulo 5 del Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, para la planificación, administración, seguimiento y monitoreo bajo un criterio generalizado de aguas en todo el territorio nacional. Este capítulo, “Una gestión ambiental y del riesgo que promueva el desarrollo sostenible”, deja entrever un abordaje sistémico del tema, al vincular al ciclo hidrológico con efectos naturales y humanos.

#### **4.7.3 Conceptualización**

El fundamento conceptual está en el reconocimiento de que el problema está en la inadecuada gestión y gobernabilidad del recurso, y parte de la idea de que tanto los intereses económicos como el desarrollo social y la protección del medio ambiente son premisas que deben estar ligadas y ser consecuentes; el panorama de la crisis del agua, muestra que los diferentes intereses se excluyen entre sí. Es buscar el mayor provecho para el bienestar social, económicamente viable, de la explotación, uso y preservación de sistemas hídricos, dentro de un marco interdisciplinar y multisectorial. Por tanto, se pretende actuar sobre las fuentes del problema como la ineficiencia, y la explotación no planeada en un marco interinstitucional.

Para abordar procesos de planificación y gestión de recursos hídricos, la política hídrica se basa en la metodología GIRH que se explicará más adelante.

La política tiene cuatro objetivos específicos, que son los aspectos clave que la definen, y que buscan:

- Asegurar la oferta del recurso; según cantidad en el ciclo hidrológico, y sistema natural de localización (cuencas, mares, glaciares, embalses, otros).
- Optimizar la demanda; según sectores de demanda (doméstico, industrial, agrícola, servicios).
- Minimizar la contaminación; según grupos de contaminación (materia orgánica, sedimentos y sólidos, patógenos, nutrientes, y de interés sanitario).

- Prevenir los riesgos asociados a la oferta del recurso; restricciones de oferta por causas naturales o humanas.

La Política argumenta que debido a la falta de recursos humanos y financieros, debe hacerse una planificación por etapas, facilitando la ejecución de obras a corto plazo. Sin embargo, la discontinuidad en las administraciones e instituciones locales y regionales (tres años de mandato de los cuales aproximadamente un año puede tomarse poner en marcha el Plan de Gobierno) puede fragmentar los procesos en el tiempo, dejando proyectos inconclusos, desarticulados y poco eficientes.

El cumplimiento de las metas nacionales de la Política se establecerá a escala de cuenca hidrográfica. Los 3 actores clave en la gestión de recursos hídricos son los usuarios, entes territoriales y autoridades ambientales, quienes interactúan a través de los siguientes instrumentos en el marco territorial antes señalado:

---

### **Cuadro 7. Grupos de instrumentos de gestión**

---

1. Instrumentos de planeación

2. Instrumentos de administración (comando y control)

3. Instrumentos de monitoreo y seguimiento

4. Instrumentos económicos y financieros

5. Instrumentos de participación y manejo de conflictos (governabilidad)

6. Instrumentos normativos.

---

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

El ordenamiento de cuencas sea definido según cuatro escalas de aproximación, que ayudan en la definición de ámbitos de estudio, acción y evaluación, así como la jurisdicción de entidades ambientales y territoriales:

- Planificación estratégica: Corresponden a las áreas hidrográficas del país (Magdalena - Cauca, Caribe, Orinoco, Amazonas y Pacífico); escala 1:500.000.
- Instrumentación y monitoreo a nivel nacional: Corresponde a las 42 zonas hidrográficas, definidas por el IDEAM 40, servirán de referencia nacional del estado e impacto de la Política Nacional; escala 1: 250.000.
- Ordenación y manejo: son aquellas cuencas de nivel igual o subsiguiente al de las sub-zonas hidrográficas, definidas por el IDEAM, en las cuales se formularán e implementarán los planes de manejo y ordenación de cuencas (POMCA); escalas entre 1:100.000 y 1:25.000.
- Plan de manejo ambiental: comprende tanto a cuencas de orden inferior a las sub-zonas hidrográficas, así como a los acuíferos prioritarios, las cuales serán objeto de planes de manejo específicos; escalas 1:10.000 para aguas superficiales y 1:25.000 para acuíferos.

Para declarar una cuenca en ordenación, deben existir ciertas condiciones ecológicas, económicas y sociales, que le definan como prioritaria según criterios del IDEAM<sup>‡‡</sup>, y por obligación debe hacerse. Luego de priorizar, se hará la gestión necesaria para declararla como tal y así proceder a la formulación del POMCA. Este Plan debe definir:

- La zonificación ambiental.

---

<sup>‡‡</sup> IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

- Las características y condiciones ambientales de ecosistemas o recursos naturales renovables existentes tales como humedales, páramos, fauna, flora, bosques, entre otros.
- Medidas de manejo para cada uno de éstos.
- Estrategias.
- Programas.
- Proyectos a desarrollar.

Para efectos del Plan, deben considerarse la calidad y disponibilidad de la oferta hídrica, la demanda, y el balance hídrico mediante la modelación de la fuente, caudal ecológico, disponibilidad del recurso. Esto con el fin de definir los usos del agua disponible, y la identificación de problemas existentes y potenciales de accesibilidad.

#### **4.7.4 Principios, objetivos, Estrategias y Líneas de Acción**

La política se definió en ocho principios y seis objetivos específicos que se llevarán a cabo mediante estrategias enmarcadas en líneas de acción. Esto se planteó para un plazo de 12 años.

---

#### **Cuadro 8. Principios del agua y su gestión.**

1. Bien de uso público, así como su conservación.
2. Uso prioritario: El consumo humano y doméstico será prevalente sobre otros usos, por tal es un fin fundamental de la nación.
3. Factor de desarrollo: El agua es un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del país, por su importancia para la vida, la salud, el bienestar, la seguridad alimentaria y el equilibrio de ecosistemas.
4. Integralidad y diversidad: La gestión integral del recurso hídrico integra al territorio y reconoce la diversidad geográfica, ecosistémica, étnica y cultural del país, las necesidades de las poblaciones vulnerables, y la igualdad de género.
5. Unidad de gestión: La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico.
6. Ahorro y uso eficiente: El agua dulce es un recurso; su uso será racional y se basará en el ahorro y la eficiencia.
7. Participación y equidad: la participación e integración de actores o usuarios, es fundamental en aras de la equidad social.
8. Información e investigación

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

#### **4.7.5 Objetivo general**

Plantea a la gestión y el uso eficiente y eficaz del agua cómo la manera de garantizar la sostenibilidad del recurso, en un marco de planificación territorial, conservación ambiental, protección del medio natural y participación.

---

#### **Cuadro 9. Resumen de objetivos específicos de la política hídrica nacional.**

##### **Oferta: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país. Estrategias:**

Conocimiento: entender las relaciones entre ecosistemas e hidrología. Cantidad de agua disponible según usos y demanda ecológica.

- Ampliar y consolidar, a nivel de cuenca, el conocimiento de la oferta hídrica total y disponible del país, para tener balances hídricos confiables.
- Profundizar en el conocimiento de la oferta (recursos y reservas) de aguas subterráneas.
- Cuantificar los bienes y servicios ambientales relacionados con el agua que prestan los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica y por el recurso hídrico en sí mismo.

Planificación: establecer lineamientos teniendo en cuenta las dinámicas de ocupación del suelo.

- Realizar un análisis de las cinco macrocuencas del país para establecer pautas y directrices para su ordenamiento y manejo sostenible.
- Priorizar, formular e implementar los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas a desarrollar en las cuencas objeto de ordenación y manejo que correspondan a subzonas hidrográficas o de nivel subsiguiente según definición del IDEAM.

- Promover la articulación de los planes de ordenamiento territorial a los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, como determinantes para la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.
- Formular e implementar los planes de manejo de acuíferos definidos en el Plan Hídrico Nacional, que no estén dentro de uno de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas priorizados en el Plan Hídrico Nacional.
- Orientar estrategias de ocupación del territorio en los planes de ordenamiento territorial y en los planes de desarrollo territorial, para que tengan en cuenta la disponibilidad y calidad del agua.

Conservación: restauración y preservación de los ecosistemas clave en la respuesta hidrológica.

- Promover y apoyar procesos nacionales, regionales y locales para la protección, conservación y restauración de los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, a través de acciones como la formulación e implementación de planes de manejo cuando haya lugar.
- Adquirir, delimitar, manejar y vigilar las áreas donde se encuentran los ecosistemas clave para la regulación de la oferta del recurso hídrico.
- Definir los caudales mínimos necesarios para el mantenimiento de las Corrientes superficiales y sus ecosistemas acuáticos asociados, e implementar medidas para garantizarlos.

#### **Demanda: Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua a nivel nacional. Estrategias:**

Caracterización y cuantificación de la demanda en cuencas: medir la oferta y demanda de agua en detalle para asignar eficiente y eficazmente; identificar e intervenir usos no legalizados con el fin de ajustarlos a la reglamentación vigente.

- Realizar inventarios y registros de usuarios (legales y por legalizar) del recurso hídrico, a nivel de cuenca priorizada en el Plan Hídrico Nacional, en relación con las aguas superficiales, subterráneas y marino costeras.
- Cuantificar la demanda y calidad del agua requerida para el desarrollo de las actividades de los principales sectores usuarios del recurso hídrico, a nivel sectorial y regional.
- Implementar y hacer seguimiento periódico a los sistemas de medición de los consumos de agua para usuarios priorizados en el Plan Hídrico Nacional.
- Aplicar la metodología de balance hídrico (oferta vs demanda) a nivel de cuenca para administrar la demanda, teniendo en cuenta el caudal mínimo ambiental.

Incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores productivos: promover y apoyar la adopción de herramientas de gestión integrada de los sectores productivos del país que sean mayores consumidores de agua.

- Estructurar e implementar el componente ambiental de los planes departamentales de agua y saneamiento (PDA).
- Incorporar las directrices de la Política en los planes estratégicos y de acción de los principales sectores usuarios del recurso hídrico priorizados en el Plan Hídrico Nacional.

Uso eficiente y sostenible del agua: fortalecer la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente y sostenible del agua entre los principales consumidores de agua en el país, y promover el cambio de hábitos no sostenibles de uso del agua entre los usuarios comunes.

- Incrementar la utilización de tecnologías ahorradoras y de uso eficiente del agua.
- Adoptar programas de reducción de pérdidas de agua y de mejoramiento de la infraestructura obsoleta existente en los sistemas de abastecimiento de agua para cualquier uso.
- Incrementar la implementación de los programas de uso eficiente y ahorro de agua, en empresas de acueducto y alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios, priorizados en el Plan Hídrico Nacional.
- Desarrollar e implementar mecanismos que promuevan cambios en hábitos de consumo no sostenibles en los usuarios del agua.

#### **Calidad: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación. Estrategias**

Ordenamiento y reglamentación de usos del recurso: planeación del uso coordinado del suelo, el agua, y sistema biótico; incluye el registro de usuarios, la reglamentación, y distribución eficiente

- Desarrollar y aplicar la ordenación, reglamentación y el registro de usuarios en las cuencas priorizadas en el Plan Hídrico Nacional, y hacer seguimiento a sus obligaciones.

Reducción de la contaminación del recurso hídrico: combatir las principales causas y fuentes de contaminación, mediante la prevención y medidas correctoras.

- Reducir en los cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional, los aportes de contaminación puntual y difusa implementando, en su orden, acciones de reducción en la fuente, producción limpia y tratamiento de aguas residuales, para reducir además de la contaminación por materia orgánica y sólidos en suspensión, patógenos, nutrientes y sustancias de interés sanitario
- Eliminar la disposición de los residuos sólidos a los cuerpos de agua, en el marco de lo establecido en los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)..

Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua: mejorar las prácticas y herramientas de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, como medio para realizar una gestión eficiente del agua y medir el logro de los objetivos y metas.

- Formular e implementar el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico.

- Optimizar, complementar y mantener en operación permanente la red de monitoreo de calidad y cantidad del agua en las 42 cuencas objeto de instrumentación y monitoreo a nivel nacional, que corresponden a las zonas hidrográficas definidas por el IDEAM, así como de las aguas marinas con base en la REDCAM.
- Continuar con el programa de acreditación y certificación de los laboratorios ambientales que desarrolla el IDEAM.
- Articular y optimizar las redes y los programas de monitoreo regional del recurso hídrico superficial, subterráneo y marino costero, mediante acciones como la integración de redes de monitoreo, el establecimiento de reglamentos y protocolos de monitoreo de la calidad del recurso hídrico, entre otras.
- Incrementar y/o mejorar los sistemas de monitoreo, seguimiento y evaluación de los vertimientos, de tal forma que permitan conocer periódicamente su evolución, así como, la calidad y el estado de los cuerpos de agua receptores priorizados en el Plan Hídrico Nacional.

#### **Riesgo: Gestionar los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua. Estrategias.**

##### Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica.

- Generar conocimiento sobre los riesgos asociados al recurso hídrico, mediante acciones como la identificación y caracterización de la vulnerabilidad de los ecosistemas clave para la regulación hídrica y de los sistemas artificiales para la regulación hídrica.
- Inventariar e identificar los riesgos sobre la infraestructura de abastecimiento de agua de los diferentes usuarios, ante amenazas naturales o antrópicas que afecten la disponibilidad hídrica.
- Sistematizar la información relacionada con los riesgos que afectan la oferta y disponibilidad hídrica, y divulgarla a la comunidad para que los conozca y los prevenga

##### Incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación: incluir la gestión del riesgo en la formulación e implementación de los principales instrumentos de planeación del recurso hídrico, así como a fortalecer las capacidades en el tema, de las instituciones encargadas de la planificación ambiental y territorial a nivel regional y local.

- Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenamiento territorial, planes de desarrollo territorial y en los planes de atención y prevención de desastres de los entes territoriales.
- Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad hídrica en los planes estratégicos y de acción de los principales sectores productivos usuarios del recurso hídrico.
- Incorporar la gestión de los riesgos asociados a la oferta y la disponibilidad del recurso hídrico en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, Planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), Programas de uso eficiente y ahorro del agua (PUEAA), en los planes de manejo de aguas subterráneas y en los planes de manejo de los otros ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica.

##### Medidas de reducción y adaptación de los riesgos asociados a la oferta hídrica: fortalecer la formulación e implementación de medidas de adaptación y mitigación de efectos por cambio climático por parte de los usuarios del recurso hídrico que resulten más expuestos a estos fenómenos naturales.

- Diseñar e implementar medidas de adaptación a los efectos del cambio climático en los ecosistemas clave para la regulación de la oferta hídrica, así como, por parte de los siguientes sectores: hidroenergía, agricultura, navegación fluvial y, abastecimiento de agua potable.
- Diseñar e implementar a nivel regional y local, medidas de reducción de riesgos por variabilidad climática (fenómenos de El Niño y La Niña) y por otras amenazas naturales que afecten los ecosistemas clave para la regulación hídrica, así como la oferta y disponibilidad hídrica de los principales usuarios del agua en el país.

#### **Fortalecimiento institucional. Estrategias:**

##### Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico: fortalecer las acciones de planificación de las autoridades ambientales, administración, monitoreo y control del recurso hídrico, así como mejorar su capacidad para vincular a las partes interesadas.

- Mejorar la capacidad de gestión integral del recurso hídrico en las autoridades ambientales y otros tomadores de decisiones.
- Articular y coordinar entre el MAVDT y las autoridades ambientales, las acciones que tengan incidencia sobre el recurso hídrico, con otros Ministerios y con los entes territoriales.
- Implementar programas de legalización de los usuarios de hecho del recurso hídrico.
- Orientar e incrementar las acciones de conservación y uso eficiente del recurso hídrico que desarrollen voluntariamente los usuarios del recurso (particulares, entidades públicas y privadas, y comunidad en general).
- Reglamentar los cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional.
- Implementar el registro de usuarios del recurso hídrico (RURH) (Decreto 1324 de 2007).

##### Formación, investigación y gestión de la información: fomentar y desarrollar acciones de investigación y de manejo de la información, en de tal forma que aporten a la comprensión del estado y evolución del recurso hídrico en el país. Todo esto mediante la formulación e implementación del plan nacional de investigación y

formación en la gestión integral del recurso hídrico, y el sistema de información del recurso hídrico (Decreto 1323 de 2007).

- Formular e implementar el plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico.
- Implementar el sistema de información del recurso hídrico (Decreto 1323 de 2007).

Revisión normativa y articulación con otras políticas: ajustar, articular y desarrollar normativas.

- Integrar, armonizar y optimizar la normativa relativa a la gestión integral del recurso hídrico, y diseñar e implementar protocolos, guías y cajas de herramientas para su correcta aplicación.
- Incidir en las políticas públicas o privadas que afecten de manera importante el recurso hídrico, articulando las acciones de la Política para la GIRH con las de otras políticas ambientales, sectoriales y multisectoriales como la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros.
- Establecer y aplicar criterios y estándares de calidad del recurso hídrico para usos con necesidad de reglamentación, tales como las aguas marino costeras, recarga de acuíferos y re-uso de aguas residuales tratadas.
- Establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio en el marco de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
- Reglamentar el ordenamiento ambiental de los mares adyacentes.

Sostenibilidad financiera: estimar, priorizar y asegurar las inversiones necesarias para la implementación de la Política de Gestión, y el Plan Hídrico Nacional.

- Cuantificar y priorizar las inversiones, así como apropiar los recursos necesarios para el financiamiento del Plan Hídrico Nacional.
- Articular y optimizar las fuentes existentes de financiamiento para la gestión integral del recurso hídrico y gestionar las nuevas fuentes que sean necesarias para el cierre financiero de los programas y proyectos prioritarios del Plan Hídrico Nacional.
- Realizar el seguimiento y hacer evaluación periódica y pública de los resultados de las inversiones realizadas en el marco del Plan Hídrico Nacional.

#### **Gobernabilidad: Consolidar y fortalecer la gobernabilidad. Estrategias**

Participación: incentivar mecanismos y espacios de participación que motiven a los actores a vincularse en los procesos de gestión, a la vez que pueden conformar grupos de veeduría y control ciudadano sobre las inversiones y acciones ejecutadas.

- Incrementar la capacidad de participación de todos los actores involucrados en la gestión integral del recurso hídrico.
- Implementar programas para promover el control social y la veeduría ciudadana hacia la gestión sostenible del recurso hídrico.
- Implementar programas para asegurar la participación en la gestión integral del recurso hídrico de los grupos sociales más vulnerables.
- Implementar programas masivos de comunicación e información a nivel nacional, regional y local, acerca de las acciones desarrolladas y proyectadas para implementar el Plan Hídrico Nacional.
- Desarrollar e implementar esquemas de gestión comunitaria local hacia el uso y manejo responsable del agua.

Cultura del agua: promover la conciencia y el conocimiento sobre la conservación y el uso sostenible del recurso hídrico, así como, de abolir malas prácticas y hábitos de consumo.

- Implementar campañas de sensibilización y campañas educativas acerca de la gestión integral del recurso hídrico, que incluyan a todos los sectores usuarios del agua.
- Desarrollar e implementar contenidos curriculares en el tema de la gestión integral del recurso hídrico adaptados a los contextos locales.

Manejo de conflictos: proveer a usuarios y autoridades ambientales y territoriales, de herramientas para identificar, tratar y manejar o resolver los conflictos en torno al uso y accesibilidad al agua.

- Identificar, caracterizar y clasificar los conflictos relacionados con el recurso hídrico. Desarrollar e implementar escenarios y espacios para el manejo y transformación de conflictos y asegurar el uso compartido y equitativo del agua.
- Proveer los recursos, herramientas y capacitaciones necesarias para el manejo y transformación de conflictos en la gestión integral del recurso hídrico.

---

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

#### **4.7.6 Antecedentes en política hídrica**

El Instituto Nacional de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente (INDERENA) y Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), Llevaron a cabo proyectos utilizando disposiciones e instrumentos creados en los decretos reglamentarios por el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, fijando criterios de

administración del agua, basados en la idea del agua como bien de uso público, como la concesión de aguas, la reglamentación de corrientes y el permiso de vertidos, e instrumentos de planificación, como los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. En 1993 se creó el Ministerio del Medio Ambiente, y que ahora es el MAVDT, que en 1996 publicó los “Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua”. En el Cuadro 10 se muestran otras políticas asociadas a este tema.

**Cuadro 10. Otras políticas relacionadas a los antecedentes en política hídrica.**

1995, Política de Biodiversidad en Colombia
1996, Política de Bosques
1997, Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos
1997, Política de Producción más Limpia
1998, Lineamientos de Política para la Participación Ciudadana en la Gestión Ambiental
1998, Lineamientos para la Política Nacional de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

Entre el 2006 y 2010 el Ministerio se fortaleció internamente y creó el Grupo de Recurso Hídrico e inició un trabajo interinstitucional con el IDEAM y otras entidades, para desarrollar la Política Hídrica Nacional.

#### 4.7.7 Antecedentes Normativos

El Decreto 1381 de 1940, expedido por el entonces Ministerio de Economía Nacional en 1940, emitió el decreto 1381 para el aprovechamiento, conservación y distribución de aguas en el territorio colombiano. A partir de la creación del INDERENA en el año 1968 la actividad regulatoria para recursos hídricos aumentó. Sin embargo solo hasta el año 1974 se expide el decreto-ley 2811, que es la base de la actual política y normativa sobre recursos naturales: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Tal ley estableció las bases y criterios de implementación para los posteriores planes de ordenación de cuencas hidrográficas.

Estos son algunos de los progresos legislativos precedentes a la creación del MAVDT:

**Cuadro 11. Logros a nivel normativo.**

<b>1977</b>	Decreto 1449. Establece obligaciones de conservación, protección y aprovechamiento de las aguas, propietarios de predios.
<b>1978</b>	Decreto 1337. Incluye componentes ecológicos, de preservación ambiental y recursos naturales en la educación básica, media, intermedia y no formal.
<b>1979</b>	Ley 9 o Código Sanitario Nacional. Establece procedimientos y medidas de regulación y control de vertidos. Decreto 1875, para la prevención de contaminación de aguas marinas. Este mismo año se comienza el Proyecto Cuenca Alta del Río Magdalena, que pretendía obtener información técnica, económica y científica de esta parte de la cuenca, y establecer un marco de referencia para aplicaciones en el resto del país.
<b>1981</b>	Decreto 2857, para la reglamentación de cuencas hídricas.
<b>1982</b>	Primer Congreso Nacional de Cuencas organizado por el INDERENA.
<b>1984</b>	Decreto Ley 2324. Creación de la Dirección General Marítima. Decreto 1594 en el que se establecieron los límites máximos admisibles para vertidos en redes de saneamiento y el medio natural.
<b>1996</b>	Ley 79. Se declaran áreas de reserva y protección forestal, para la conservación y preservación de recursos hídricos.
<b>1988</b>	Ley 46. Creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.
<b>1990</b>	Ley 29 de 1990, para el fomento del desarrollo tecnológico y la investigación.
<b>1991</b>	Se establece un marco constitucional en el que se reconoce al medio ambiente como un derecho colectivo.



<b>1993</b>	Ley 99, para la creación del Ministerio de Medio Ambiente que, en 2003 mediante la ley decreto 216, pasa a ser el MAVDT.
-------------	--

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

#### **4.7.8 Actual estructura de gestión administrativa**

Según la ley 99 de y el decreto-Ley 216 de 2003, el MAVDT se encarga de definir y formular las políticas y regulaciones para la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales, garantizando la participación. En resumen se encarga de establecer y regular:

- Criterios para la formulación de políticas.
- Condiciones generales para saneamiento medioambiental.
- Lineamientos para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.
- Límites máximos admisibles en vertidos.
- Monto mínimo de las tasas ambientales.

La misma ley reordenó y creó treinta y tres Corporaciones Autónomas Regionales como unidades administrativas autónomas para la administración y vigilancia del medio ambiente en todo el territorio nacional, dentro de los cuales se encuentra el agua.

A nivel local, las municipalidades están encargadas, como integrantes del Sistema Nacional Ambiental, de formular planes, programas y proyectos generales y sectoriales, y ejecutar proyectos de descontaminación, obras hidráulicas para control de escorrentías, y de cauces y corrientes de agua. Tienen la autonomía para formular según normativas generales, disposiciones legales para el control y preservación medioambiental.

---

#### **Cuadro 12. Otras entidades asociadas a la gestión del recurso hídrico.**

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Ministerio de la Protección Social, que establece normativas para consumo humano

Ministerio de Educación Nacional

Ministerio de Minas y Energía

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico –CRA

Dirección General Marítima –DIMAR

Fuente: Política de Gestión Integral del Recurso Hídrico en Colombia, 2010

#### **4.7.9 Área Metropolitana del Valle de Aburrá**

El Valle de Aburrá, donde se encuentra un conglomerado urbano de 10 municipios formando un área metropolitana, cuenta con una localización excepcional. Su orografía, altitud y desniveles en su interior proporcionan una cantidad importante de fuentes de agua que fluyen a lo largo y ancho de la gran ciudad.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá es un conglomerado urbano con una gran riqueza hídrica debido a su condición de geográfica de valle, el desnivel de su orografía y el régimen pluvial. El 17% del consumo de agua proviene de sus 70 sub-cuencas hídricas repartidas en los 10 municipios que la conforman. Alberga una población de 3.329.560 habitantes (DANE, 2005).

La carencia de un modelo de desarrollo urbano integral en la planificación de la ciudad del siglo pasado, y de políticas y leyes firmes para la protección medioambiental, así como el desconocimiento y subvaloración de la oferta de servicios ambientales de los ecosistemas que giran entorno a cuerpos de agua, ha tenido como consecuencia el deterioro creciente de la calidad y cantidad del recurso hídrico, y de los ecosistemas asociados. Como ejemplo, el 88% de los sólidos disueltos detectados aguas debajo del río Aburrá, es aportado por la escorrentía.

Es necesario el acercamiento propositivo desde la sostenibilidad para garantizar nuevas opciones técnicas y operativas para la protección y adecuada gestión del recurso hídrico, máxime en el momento de transformación tan álgido por el cual Medellín está pasando.

En los últimos 7 años, Medellín ha incrementado su inversión en desarrollo urbano y social de manera bastante importante. Así mismo se ha complejizado la manera de abordar el territorio, lo que favorece la fácil introducción de temas de sostenibilidad en las agendas locales. Por otro lado, las diferentes entidades ambientales han incrementado sus esfuerzos en el diagnóstico y solución a problemáticas ambientales, con resultados buenos, pero que en un contexto de expansión urbana, y de desarrollo económico, los objetivos logrados no alcanzan a abarcar las nuevas dimensiones de la problemática ambiental.

#### **a. Servicios de agua**

El servicio de acueducto está cubierto principalmente por Empresas Públicas de Medellín (EPM) que pertenece a la municipalidad. Sin embargo, allí donde la red no puede servir por la cota de servicio, hay acueductos verticales que tienen esta función, y es la Corporación Ambiental CORANTIOQUIA quien da los permisos de caudal para extracción.

El servicio de saneamiento urbano de la ciudad está administrado por EPM. Desde el año 1967 se ha ido implementando un plan maestro para el manejo de aguas residuales que ha consistido en la cobertura gradual a la red de drenaje, la fijación de metas en parámetros de calidad como oxígeno disuelto y DBO, y la implementación de infraestructuras para la depuración.

La red está constituida principalmente por ductos colectores a los cuales llegan las aguas domiciliarias, y por interceptores, ductos paralelos al río a los cuales se conectan los colectores. Se tiene planeado que al final de la red hayan 4 estaciones de depuración que tratarán las aguas residuales captadas en los municipios de Medellín, Bello, Envigado, Itagüí, La Estrella, Sabaneta, Copacabana y Girardota. De las 4 plantas que servirán a toda el área metropolitana, solo una está en funcionamiento; las otras tres están programadas a mediano plazo.

### **4.8 Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas y Microcuencas Hídricas (POMCA y PIOM)**

Los POMCA y PIOM son instrumentos obligatorios de planificación territorial y ambiental cuya responsabilidad ejercen las autoridades ambientales, reglamentado en el decreto 1729 de 2002. En el año 2005 se concluyó este plan para la cuenca del río Aburrá, bajo la responsabilidad del Área Metropolitana de Medellín, máxima autoridad ambiental en el ámbito.

Así pues, los instrumentos POMCA y los PIOM describen el panorama general y bien argumentado de las problemáticas del estado del recurso hídrico, para este caso, lo que representa un avance para la definición de políticas de actuación más concretas, en miras a la buena gestión del agua.

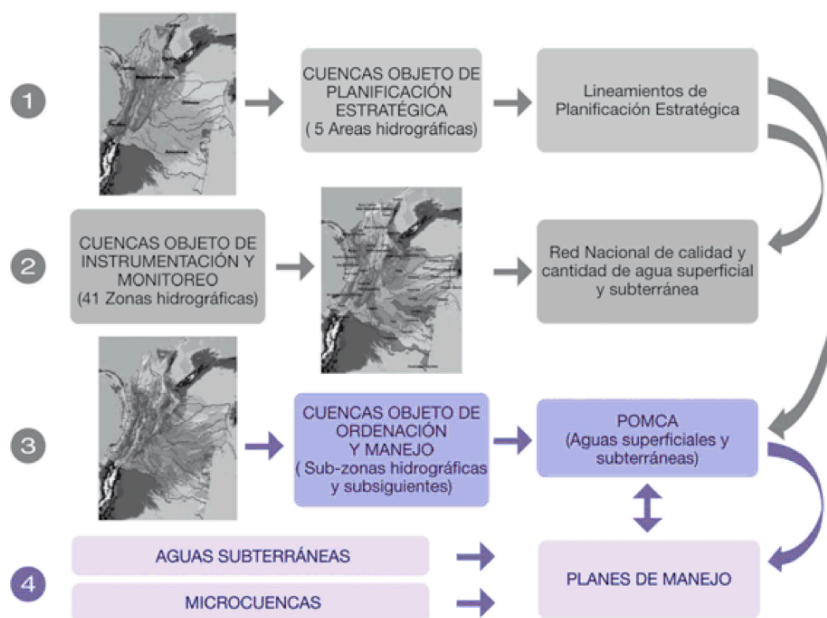
#### 4.8.1 Decreto 1729 de 2002 sobre Cuencas Hidrográficas

Establece la definición, ámbito geográfico, y los usos para efectos legales. También trata sobre la ordenación territorial, de la elaboración y ejecución de planes de ordenación y de las fuentes de financiación de tales planes.

En el artículo cuarto se dice sobre la ordenación de cuencas que “tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos.” Y más adelante continúa “La ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.” Esto da soporte legal para la elaboración de planes en tales ámbitos y da especial importancia al manejo sostenible de los recursos.

También establece las directrices para la protección de zonas ambientales fundamentales para el ciclo hidrológico y la seguridad y bienestar humano, el uso adecuado y eficiente de recursos hídricos dando prioridad al consumo humano, y la prevención de la degradación medioambiental entre otros.

Figura 15. Ámbitos de gestión hídrica nacional



Fuente: Política Hídrica Nacional de Colombia, 2010

#### 4.8.2 Contenidos

Estos estudios son un amplio compendio regidos por el Decreto 1729 de 2002 para determinar el estado de los recursos naturales bajo un estudio integral que incluyen aspectos sociales y económicos. Deben cumplir con unos contenidos estrictos formulados tanto por el IDEAM como por las corporaciones regionales y otros agentes administradores de recursos naturales.

En principio, se debe desarrollar un diagnóstico para determinar los usos del agua y mejorar la zonificación de los usos del suelo y revisar los retiros a los cuerpos de agua. Este

diagnóstico debe recopilar y actualizar la información sobre las condiciones físicas, biológicas, geológicas, hidrológicas, socioeconómicas y culturales de la cuenca o microcuenca, para establecer los potenciales, conflictos y restricciones en la ocupación del territorio y la utilización de recursos naturales.

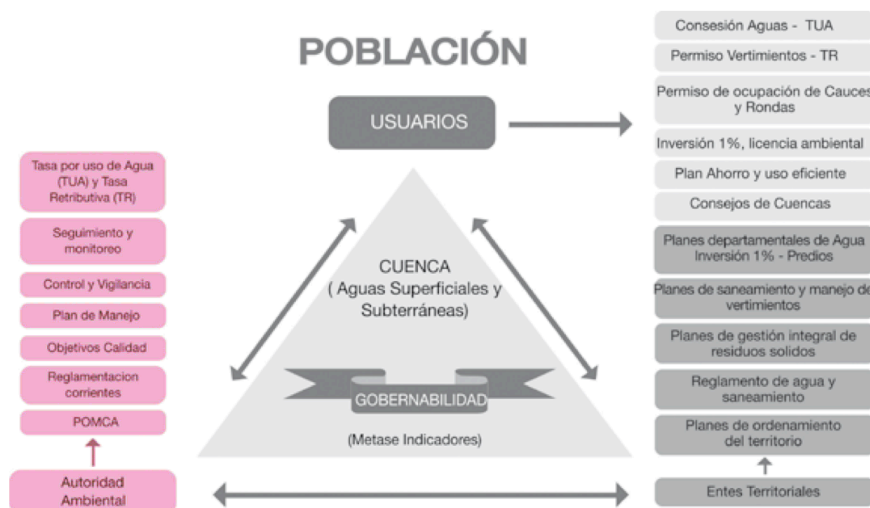
En primer lugar se debe delimitar el ámbito teniendo en cuenta las modificaciones por acciones humanas. Luego están los componentes Agua, Suelo, Calidad del Aire, Vegetación, Fauna, Ecosistemas Acuáticos, Actores, Caracterización socioeconómica y Cultural, Prospección Arqueológica, Infraestructuras de Producción y Actividades Económicas, Cuantificación económica de la Producción, Educación, Infraestructura Social, Acceso a Servicios Públicos Domiciliarios, Vulnerabilidad Física y Zonificación Ambiental. Cada uno de los componentes tiene objetivos específicos y metodologías de análisis.

Luego está la fase prospectiva como ejercicio participativo. En esta se pretende generar un vínculo entre los actores para elaborar posibles escenarios futuros que permitan concertar y tomar decisiones.

Una vez elaborados estos marcos se pasa a la fase de formulación del Plan, en ésta se identifican las estrategias, los programas y proyectos de inversión para la adopción de medidas de conservación, de rehabilitación y de prevención de riesgo y deterioro, se establecen alternativas en términos de objetivos y líneas directrices para el desarrollo y se definen programas, proyectos y actividades para desarrollar.

La cuenca hidrográfica es la unidad espacial de gestión donde se va a aplicar la política. En estos ámbitos se evaluarán los alcances cumplidos por la política. Allí se integran los actores que se articularán a través de los instrumentos existentes. La gobernabilidad va a asegurar que tal articulación sea de manera efectiva, eficiente y eficaz.

**Figura 16. Esquema de articulación entre actores**



Fuente: Política Hídrica Nacional de Colombia, 2010

### 4.8.3 POMCA Río Aburrá

Las municipalidades enmarcadas dentro de los diferentes planes que aglomera el Área Metropolitana, deben gestionar las subcuencas o microcuencas de su jurisdicción, como una unidad territorial, esto es el análisis del territorio a partir de las áreas demarcadas por la dinámica hídrica. Así, los Planes de Integrales de Ordenamiento y Manejo de Microcuencas – definidos en el decreto 1729 de 2002- no solo se presentan como un análisis de las

condiciones hidrológicas de tal porción del territorio, sino como un completo diagnóstico que abarca no solo aspectos hidrológicos, sino también, medioambientales, sociales y económicos.

En principio nació como un acuerdo entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, CORNARE y Corantioquia,<sup>§§</sup> con el fin de formular y llevar a cabo el POMCA del río Aburrá, en el tramo de 104 km de longitud, comprendido desde su nacimiento hasta Puente Gabino.

Es una aproximación metodológica a la problemática social, económica y ambiental de la cuenca para definir a mediano plazo mediante lineamientos de políticas, líneas estratégicas y programas, temas como la zonificación ambiental, soluciones a la problemática de insostenibilidad de recursos, retiros en cuerpos de agua, y otros.

---

<sup>§§</sup> corporaciones autónomas regionales para la administración de recursos ambientales.

## **5. Metodología, desarrollo y análisis de resultados**

### **5.1 Metodología**

El objetivo de este capítulo es enmarcar la actuación concreta del PIOM en un contexto de políticas hídricas y gestión de la sostenibilidad del recurso, global y práctico. Los esfuerzos de cooperación internacional para el desarrollo humano y la preservación del medio ambiente sólo pueden tener efecto si hay compromiso de cumplimiento en los acuerdos, y capacidad de ejecutar consecuentemente proyectos a nivel local, y la idea es hacer una revisión local en un contexto global de gestión de recursos hídricos.

Para el trabajo se definió una estructura temática de abordaje que permitiera fundamentar un marco de análisis desde la sostenibilidad, asumir el balance hídrico como indicador básico de su dinámica en un área de estudio, clasificar los principales factores que afectan al recurso, asociar dispositivos de control a tales problemáticas, y asociar oportunidades de aplicación de tales medidas en proyectos de desarrollo urbano en la sub-cuenca seleccionada.

En este capítulo se expone un ejercicio práctico aplicado a la subcuenca Santa Elena. Este se hizo con el fin aplicar una metodología que permitiera ver los cambios en la respuesta hidrológica de la cuenca al cambiar algunos usos del suelo, e implementando sistemas de control y retención de la escorrentía superficial.

El ejercicio no pretende evaluar la sostenibilidad, ni la efectividad de las medidas sugeridas en el PIOM o en este trabajo. Simplemente es un aplicativo de una metodología con las herramientas más asequibles con las que se contaron en el momento del planteamiento, la limitada información recopilada, y que no pretende arrojar datos determinantes.

En otras palabras, este ejercicio quiere hacer un vínculo entre la teoría de la sostenibilidad del recurso hídrico en el área metropolitana del Valle de Aburrá y su periferia, y la práctica profesional, en el marco legislativo y de planificación local. Para esto último, el ejercicio se basa en los datos y propuestas del Plan Integral de Ordenamiento y Manejo de la cuenca Santa Elena, y el Proyecto Urbano Integral Centro Oriental, Comunas 8 y 9, del Municipio de Medellín, localizado en la cuenca de estudio.

### **5.2 Gestión sostenible del Agua de la cuenca Santa Elena en el Valle de Aburrá**

#### **5.2.1 La insostenibilidad del recurso hídrico**

Las ciudades actúan como agentes concentradores de una población que desde los últimos cincuenta años está creciendo vertiginosamente. Las necesidades humanas que allí se generan demandan servicios ambientales que ejercen presión y generan impactos en el medioambiente, transformado el paisaje e incidiendo en la cantidad y variaciones físicas, geomorfológicas y químicas de sus componentes.

Tales consecuencias se han convertido en una externalidad por parte de los responsables directos e indirectos del control y explotación del suelo, quienes por desidia, o falta de poder para ejercer autoridad, o por beneficio económico, no asumen la responsabilidad de la preservación de recursos para la sostenibilidad del bienestar humano, y del medio.

Los cambios en los usos del suelo y la falta de un mayor control en las actividades y consumo humano son las principales presiones que el recurso hídrico soporta, y que generan problemas en la calidad y cantidad de su disponibilidad, y en el control de inundaciones, movimientos de masas, empobrecimiento y erosión de los suelos, e impactos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos directamente, y en otro de manera indirecta.

Las modificaciones en el ciclo hidrológico de los ámbitos urbanos tienen importantes variaciones que pueden ser controladas con infraestructuras, que a su vez son muy costosas económica y ambientalmente, en función de la magnitud de la transformación del territorio, y las mismas condiciones geomorfológicas y climáticas de este último.

En un marco de población creciente y de deterioro y disminución en la oferta y calidad de servicios ambientales, las ciudades hoy se enfrentan al reto de proporcionar ampliamente la seguridad social, económica y ambiental, sin que ninguna de ellas se vea comprometida en su detrimento, teniendo en cuenta su capacidad transformadora en las diferentes escalas territoriales.

### 5.2.2 Definición conceptual

La gestión sostenible del agua puede ser cualquier proceso de planificación y práctico que incorpore todos los recursos necesarios para preservar, recuperar y proteger el agua. Hay un mínimo de características que hacen que un proyecto se enmarque en la sostenibilidad:

- **Carácter social.** Para integrar a los actores de forma equitativa en la toma de decisiones, la concertación, la búsqueda de soluciones, la implementación, seguimiento y desarrollo de cualquier práctica, plan o proyecto, y así garantizar la gobernabilidad del recurso.
- **Beneficio económico.** Mediante la eficiencia, la protección de reservas de servicios ambientales, el ahorro, la disminución de las demandas y la estabilidad, se pueden lograr beneficios económicos directos, y externalidades positivas.
- **Ambiental.** Qué genere impactos positivos en la preservación de la biodiversidad, la disminución de la contaminación, la protección y recuperación de recursos ambientales, y la resiliencia de ámbitos como hábitats, ciudades y cuencas.

Se busca sintetizar los componentes mínimos ideales para implementar conceptos y medidas de sostenibilidad en la GIRH. Esto con el fin de complementar herramientas como los POMCA en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En la Figura 17 se esquematiza el marco conceptual propuesto.

**Figura 17. Marco conceptual para la Gestión Sostenible del Agua en Cuencas de ámbito Urbano**



Elaboración propia

### **5.2.3 Objetivos**

A continuación se establecen los principales objetivos en la gestión sostenible del agua.

#### **b. Gestionar el riesgo y disminuir la vulnerabilidad de habitantes**

- Mediante el cumplimiento de las normativas sobre ocupación del suelo en área de riesgo.
- Definición de zonas de retiro.
- Garantizar el acceso generalizado en calidad y cantidad al agua.

#### **c. Conservación del agua en calidad y cantidad**

- Reducir la demanda de agua potable.
- Incorporación de tecnologías eficientes para el consumo.
- Fomentar el uso de fuentes alternativas de agua.

#### **d. Protección de recursos hídricos**

- Implementación de mecanismos para revertir o compensar los cambios en el ciclo hidrológico
- Minimizar cantidad de aguas residuales y garantizar su tratamiento a un nivel adecuado tanto para re-uso como para vertimiento.
- Tratar las aguas pluviales de modo que puedan reutilizarse y/o descargarlas de sedimentos, contaminantes y nutrientes, mediante la retención y vertido controlado.
- Mejorar la calidad de cursos mediante la restauración o preservación del régimen hidrológico natural de cuencas.
- Mejorar la calidad del paisaje y el vínculo con los habitantes.

#### **e. Distribución amplia y equitativa del agua**

- Incorporar cuidado y aprovechamiento del acuífero en puntos específicos del territorio que pueda usarse como agua para uso humano, promoviendo cierto grado de autosuficiencia mediante el control de entradas y salidas de agua en las edificaciones.
- Control en los caudales extraídos de causas
- Tratamientos alternativos de aguas pluviales captadas o extraídas.

### **5.2.4 Marco general**

La Política Hídrica Nacional de Colombia ha adoptado el esquema GIRH (IWRM) para su desarrollo, y seguramente con la consolidación de la política en Plan Hidrológico Nacional, el esquema se replicará en los siguientes órdenes de planificación. En la Figura 18 se muestra el esquema GIRH incluido en el texto.



**Figura 18. Esquema conceptual de GIRH**



Fuente: Política Hídrica Nacional de Colombia, 2010

### 5.2.5 Ámbitos

Los diferentes autores más o menos coinciden en las mismas escalas para abordar una planificación estratégica. La metodología IWRM se enmarca en el nivel de cuenca, lo que integra a todos los actores y recursos disponibles en tal ámbito. Arnold y Gibbons recomiendan tres categorías básicas de estrategias (Figura 19) para la reducción presente y futura de la escorrentía urbana. Tales grupos son planeamiento a nivel de región, sector y solar, y regulación.

**Figura 19. Niveles de acción en gestión de la escorrentía**



Fuente: Arnold y Gibbons, 1996

El WSUD plantea cuatro contextos de actuación que fácilmente pueden integrarse a la situación de la microcuenca Santa Elena por la similitud en la caracterización del suelo (Figura 20). También coincide con Arnold i Gibbons en los tres niveles de gestión de la escorrentía.

**Figura 20. Contextos de actuación WSUD**



Fuente: WSUD, 2009

Para las estrategias de conservación del agua, el WSUD determina las edificaciones como punto principal para su implementación en ahorro y fuentes alternativas. Sin embargo los mismos niveles de acción en la gestión de la escorrentía se pueden implementar en la eficiencia y reducción de consumo.

### 5.2.6 Indicadores y definición de problemática

El marco analítico MPEIR es una buena herramienta para analizar las interacciones entre el medio ambiente y las actividades socioeconómicas. Está altamente difundido y es de fácil implementación.

El PIOM utiliza y propone indicadores para la evaluación del estado del recurso (ver Anexo V), y para el seguimiento de las actuaciones. Tales indicadores no corresponden a los propuestos por la UNESCO, pero tienen mucha relación, por lo que estaría bien hacer una actualización tanto en la Política Hídrica Nacional, como en las metodologías POMCA – PIOM, de modo que en indicadores

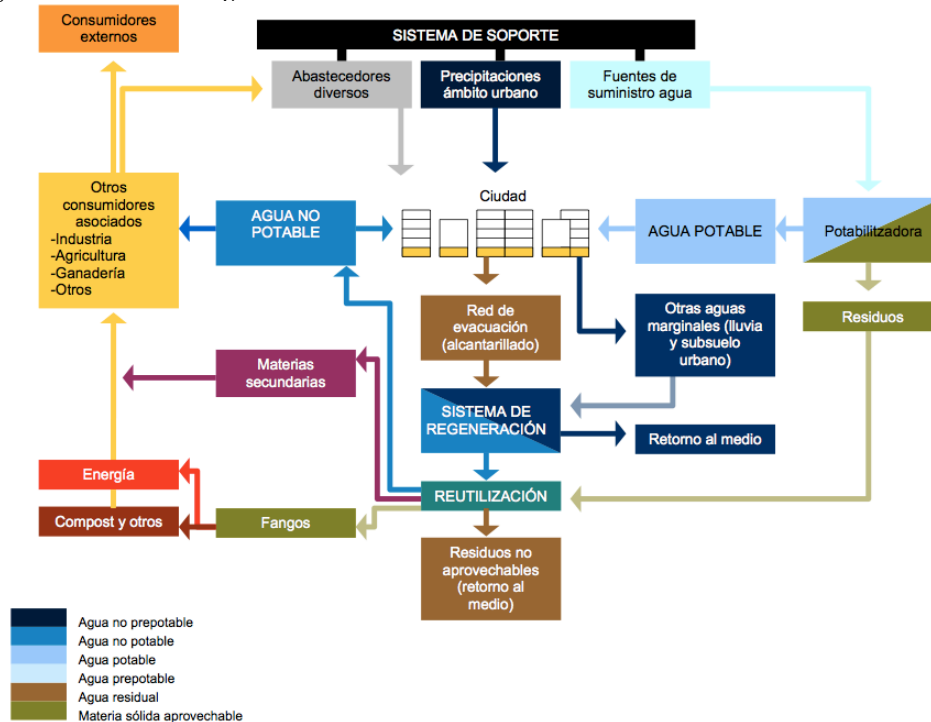
similares se adopten los propuestos por el WWAP, y se complementen con aquellos que se requieran adicionalmente.

Se propone la implementación de la matriz MPEIR como parte de la metodología de análisis, y los indicadores de la WWAP como base para establecer el estado del recurso, reconociendo los propuestos por el PIOM.

### 5.2.7 Identificación de prioridades en el metabolismo del agua

Una vez identificadas las problemáticas se debe hacer un esquema del metabolismo del agua y sus soporte infraestructural, asociando las problemáticas o retos a las fuentes, soportes, usos y disposiciones. Esto permite establecer prioridades de actuación. El ciclo del agua en el metabolismo urbano se representa en la Figura 21.

**Figura 21. Ciclo del agua vinculado a recursos hídricos locales**



Fuente: Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla, 2007

### 5.2.8 Tipos de actuaciones

Una vez establecido el esquema del ciclo hidrológico del agua, se buscan las soluciones adecuadas para aplicarlas. Ya que muchas son técnicas y tecnologías desarrolladas fuera del contexto colombiano, debe estudiarse su viabilidad económica, técnica y adaptación.

#### a. Fuentes

Establecer la presión que ejerce la demanda sobre las fuentes utilizadas y tomar medidas como:

- disminución de la presión por demanda
- la disposición de fuentes alternativas como acuíferos o aguas pluviales
- la protección fuentes
- la renovación de redes e infraestructura hidráulica
- disminución de las pérdidas en la red
- tratamientos alternativos para potabilización
- tanques de almacenamiento

## **b. Usos y demanda**

Estas acciones se ejercen casi siempre mediante la educación y la adaptación de sistemas para la eficiencia y disminución del consumo:

- control de la demanda mediante cambio de hábitos de consumo
- implementación de estándares de eficiencia mediante la implementación de sistemas de ahorro como inyectores de aire en grifería, control de la presión en aparatos y retretes de doble descarga
- recolección aguas en techos y utilizarla como fuente alternativa
- diversificación en la red de edificaciones según usos
- Estándares de la calidad del agua con el fin de tratar y reutilizar aguas grises y negras

## **c. Efluentes**

Para cambios en las características de las redes y disminución de la carga de nutrientes.

- Tratamiento in situ para re-uso o vertidos directos en zonas sin cobertura.
- Evitar combinaciones de aguas pluviales y residuales
- Maximizar el re-uso
- Implementación de procesos para el tratamiento de residuales

## **d. Gestión de aguas pluviales**

Con el fin de controlar la escorrentía y resolver las deficiencias o aumentar la eficiencia de la red de saneamiento, y evitar vertidos contaminados y otros problemas derivados. Se trata de promover todas las formas de retención las aguas pluviales.

Es un error pensar que las aguas pluviales son aguas limpias. Se ha demostrado que la mayor concentración de contaminación en la red de drenaje se da en los primeros minutos de lluvia por arrastre de contaminación difusa.

- Medidas de control en la fuente
  - Control de la contaminación difusa
  - Sistemas de captación de grandes contaminantes
  - Recolección escorrentía superficial mediante Cuencas de retención y sedimentación
  - Canales vegetados
  - Filtros de arena
  - Sistemas de bioretención
  - Humedales construidos
  - Pavimentos porosos
  - Mecanismos de infiltración
  - Otros sistemas de laminación y retención
- Control en la red
- Medios receptores:
  - Uso de la misma red como vasos de almacenamiento temporal mediante sistemas de compuertas o similares
  - Separadores de hidrocarburos
  - Mantenimiento en puntos especiales de la red
  - Optimización de la gestión de tiempos de lluvia en las estaciones de depuración Humedales construidos en zonas de descarga
  - Adecuada entrega de aguas

#### **e. Usos del suelo**

El ordenamiento del territorio, los usos asignados y las coberturas del suelo tienen una gran repercusión en la respuesta hidrológica, en la calidad y en la cantidad del agua. Esto, como se ha argumentado anteriormente, tiene efectos en el riesgo por inundaciones, movimientos de grandes masas y otros. Por esto deben tenerse presentes en la planificación a nivel de región:

- Estudiar la respuesta hidrológica de la cuenca (subcuenca o microcuenca) en diferentes escenarios de cambio de usos y coberturas.
- Reforestación estratégica, para mitigar las altas pendientes, rocas descubiertas o usos intensivos del suelo por ganadería prioritariamente.
- Buffer strips a lo largo de cauces intervenidos o en suelos de usos agropecuarios
- Aumentar los suelos de protección y su reforestación nativa
- Pago por protección y mantenimiento de servicios ambientales a comunidades aguas arriba
- Planes educativos para la valoración y arraigo al territorio

#### **f. Implementación, monitoreo y evaluación**

En esta fase es fundamental que la comunidad participe tanto en la ejecución de obras (como mano de obra previamente capacitada y seleccionada), como en el seguimiento de la evolución de planes, u obras, y su operación. La participación en todas las fases es clave para el éxito y sostenibilidad de las medidas implementadas.

El “Programa Água Doce” llevado a cabo por el Gobierno Federal en la comunidad de Impueiras en Brasil a principios de 2004, es un ejemplo de la efectividad de la participación en la operación. En principio el proyecto -que buscaba proporcionar nuevas fuentes de agua y beneficios económicos mediante la desalinización de agua, y el cultivo de peces como fuente de alimentación- no arrojó los resultados esperados. Sin embargo, en una siguiente etapa del plan, al integrar la capacitación a la comunidad en la operación de equipos y la cadena de producción como parte del plan, los cambios fueron visibles y el proyecto alcanzó sus metas. Por tanto es imprescindible:

- Jornadas de educación
- Capacitación en operación de equipos y mantenimiento
- Llevar registros de cambios percibidos
- Establecer un registro de lecturas
- Interpretación de datos
- Indicadores de seguimiento
- Indicadores de sostenibilidad

Para el caso de los sistemas recogidos en la bibliografía tales como WSUD, cabe resaltar que Australia y los otros países de referencia como Estados Unidos y Francia, tiene unas condiciones climáticas, topográficas, económicas, sociales y ambientales muy diferentes a las de Latinoamérica, por lo que la implementación del marco conceptual tiene más cabida que la de los propios sistemas de control de agua. En todo caso, en este documento se utilizan como una referencia que puede aplicarse bajo estudios detallados de pertinencia y viabilidad (para ejemplos ver Anexo IV)

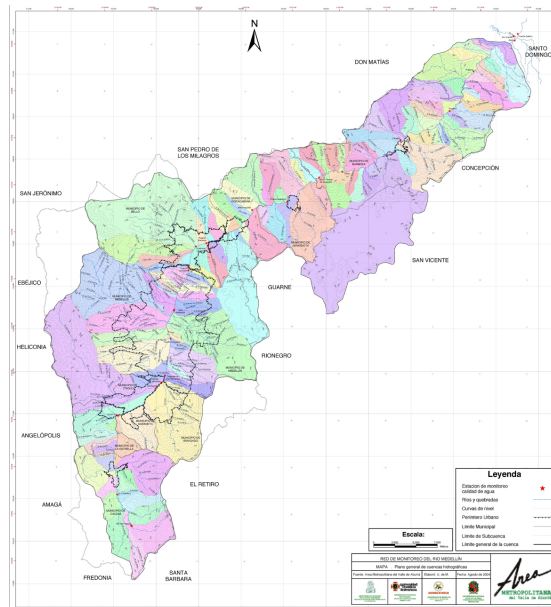
### **5.3 POMCA**

#### **5.3.1 Ámbito**

La cuenca completa comprende 15 municipios en 5227 km<sup>2</sup>, una longitud de su cauce principal de 232 Km, y es afluente del río Nechí. Nace en el alto de San Miguel y en Puente

Gabino confluye con el río Grande, que aporta el 30% del caudal. En la Figura 22 se muestra el ámbito del área metropolitana y la división por cuencas. En ella se encuentra el Valle de Aburrá y su área metropolitana. Para efectos del estudio, se definió un tramo de 104 Km con un área de un área de cuenca de 1251 km<sup>2</sup>, dividida en 108 sub-cuencas (microcuencas). Allí, además de concentrarse el 60% de la población del Departamento, se encuentra el 95% de la industria y el 75% del PIB de la región. Se caracteriza por su riqueza hídrica debido a las características geomorfológicas y de desnivel en que se encuentra (cotas entre 1300 msnm hasta 2800 msnm). Su régimen anual promedio de pluviosidad está entre 1000 y 2500 mm/año.

**Figura 22. Distribución de microcuencas en la cuenca del río Aburrá.**

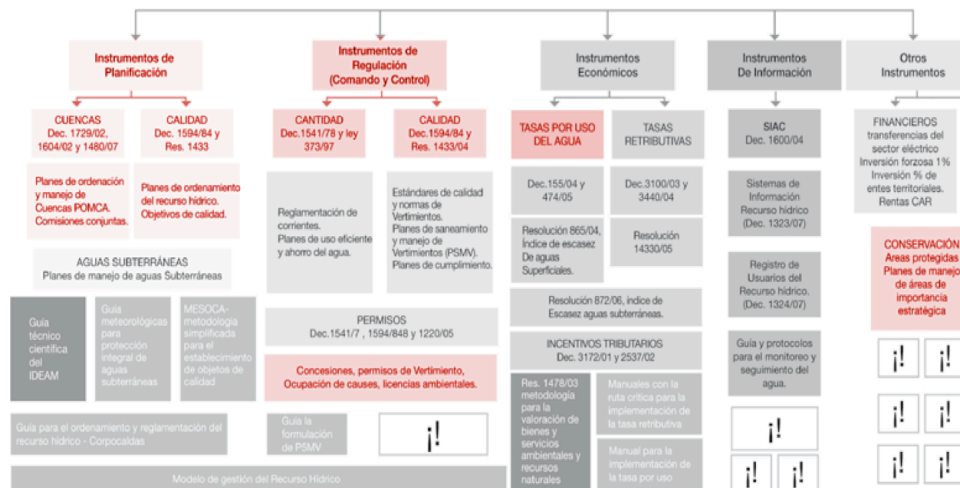


Fuente: Área Metropolitanana del Valle de Aburrá

### 5.3.2 Marco legal POMCA – PIOM

El POMCA hace parte de una estructura legislativa de instrumentos para la planificación y control de recursos hídricos. En la Figura 23 se muestra tal estructura y los puntos de oportunidad para la gestión sostenible del agua como lo son las regulaciones de cantidad y calidad, las definiciones de retiros de cauces, concesiones para la extracción, permisos de vertidos, y otros.

**Figura 23. Marco normativo e instrumental actual para la Gestión Integral del Recurso Hídrico.**



Fuente: Política Hídrica Nacional de Colombia, 2010

Dentro de esta estructura, así como hay un espacio para planes de manejo de aguas subterráneas, lo debería haber para aprovechamiento de aguas pluviales. Estas requieren de un manejo especial para su captación, almacenamiento, mejoramiento de la calidad y distribución al interior de las edificaciones.

### **5.3.3 Diagnóstico**

#### **a. Agua**

**Características pluviométricas.** Las mayores precipitaciones están entre 2800 y 3200 mm/año ubicadas en la parte norte de la cuenca, mientras que los registros menores, entre 1400 y 1800 mm/año, se localizaron en la zona central (Barbosa, Girardota, San Pedro), determinándose que las mayores precipitaciones se dan en el sur, zona de nacimiento del río, al norte, y al sur-occidente del Valle.

**Demanda agua potable.** Según datos de EEPPM el consumo por habitante del Valle es de 242 L/habitante/día. Se previó un decrecimiento en las pérdidas en la red de un 0.077%, pasando de un 35.47% a un 34.47%. Como referencia, el consumo en Barcelona es de 200 L/habitante/día, y la red de abastecimiento de agua potable tiene pérdidas del 10%.

**Riesgo por inundación.** El estudio determinó que el nivel no desbordará el canal hasta en periodos de retorno de 100 años con velocidades máximas de 5 m/s. Sin embargo, se analizó la ocurrencia de eventos de inundación y se determinaron 6 puntos de riesgo en el cauce.

**Calidad del recurso hídrico.** La caracterización se hizo a partir del seguimiento de variables, y de indicadores globales de calidad del agua. Estos últimos muestran una mejoría de la calidad del agua en el periodo 1972 – 2006. Son frecuentes las descargas en causas de residuales en asentamientos ilegales, o en zonas rurales donde no hay cobertura de alcantarillado. El proceso de urbanización ha aumentado la carga contaminante, así como muchas industrias no controlan la calidad de sus vertidos.

A pesar de las inversiones en infraestructuras que se han hecho y que han tenido un éxito parcial -en parte por que aún no se han terminado las totalidad de las intervenciones programadas-, los procesos urbanos aumentan la presión en el recurso, manteniendo el margen negativo entre problemáticas y soluciones.

**Aguas Subterráneas.** Hay un buen potencial en el acuífero evidenciado en la explotación informal identificada. Sin embargo, los estudios en la calidad de tales aguas permitieron concluir que el agua allí depositada no es apta para consumo humano, según parámetros legislativos nacionales, y recomendaciones de la OMS.

#### **b. Suelo**

**Falta de estudios con información primaria.** Hay buenas directivas para el ordenamiento ambiental del territorio y se promulga la sostenibilidad, aunque la expansión urbana es el factor que más esfuerzo ha concentrado.

La cobertura principal son los pastos naturales con un 23%, le siguen los cultivos con un 15%. Sumados pastos y rastrojos se tiene un 50%, que es un valor predominante. Los usos pecuario y agrícola, con 29.4% y 12.3% respectivamente, representan un área importante de la cuenca. El uso forestal de protección, con un 29.1%, debe evaluarse en su funcionalidad ecológica, hidrodinámica y suficiencia en proporción.

El 68.1% del suelo tiene potencial para protección y producción forestal. Sin embargo gran parte se encuentran en zonas de altas pendientes, poco propicias para la explotación forestal para producción. Sólo el 16% del suelo está identificado como cobertura forestal,

evidenciando un problema de mal uso del suelo. El 20% del suelo rural sobrepasa la capacidad de su uso, o lo que es lo mismo, presenta conflictos de uso. La explotación agropecuaria de suelos potenciales para bosques de producción o protección representa el mayor problema. Sólo el 7.7% de suelo está adecuadamente utilizado.

La expansión urbana debido al aumento de la población en los cascos urbanos, genera presión sobre los suelos rurales, aumentando el desequilibrio en funciones ecológicas necesarias como fijación de CO<sub>2</sub>, alimentación, y otras no enunciadas en el documento como el equilibrio en la dinámica hídrica, estabilidad del terreno y abastecimiento de agua dulce. Debe estudiarse mucho más a fondo el potencial en servicios ambientales del suelo, y su valoración económica.

Se hizo en 2000 un estudio de fijación de CO<sub>2</sub> donde por cada habitante se necesitaban 0.25 ha de bosque, o sea 744404 Ha, a una tasa fijada teórica. Los bosques existentes comprendían 18168 ha, habiendo un déficit de 726236 ha para la época. Tal área no logra ni siquiera ajustarse a la disponibilidad de suelo total de la cuenca, que comprende 125132 ha. Este dato denota la insostenibilidad del modelo metabólico de la cuenca.

**Usos del suelo rural.** Dependencia ecológica del 99.24%; dependencia para fijación de CO<sub>2</sub> es del 98.19%, y de agua e hidroenergía es del 98.7%, de acuerdo con una evaluación de sostenibilidad ecológica de 2004. Dentro de los conflictos están la insostenibilidad agropecuaria, fragmentación del suelo rural, migraciones.

### **5.3.4 Problemáticas**

#### **c. Agua**

**Monitoreo.** Falta en la instrumentalización de la cuenca para monitoreo que permitan tener un control mayor del ciclo hidrológico. Se requiere de una adecuada red de estaciones de medición de parámetros, en especial de precipitación y caudal. Tal red debe estar en capacidad de generar datos suficientes para estudiar el ciclo hidrológico a cualquier escala. Esto supone que el ciclo hidrológico se estudia a una escala muy amplia, y no a escalas adecuadas para la implementación de un control más preciso

**Dependencia Hídrica de otras cuencas.** El 83% del agua consumida proviene de las cuencas de los ríos Pantanillo y Riogrande. Representa una problemática para el desarrollo futuro de tales cuencas.

**Ilegalidad en el uso.** Hay una falta de control en el aprovechamiento del agua. Se presenta como motivo principal la cota de cobertura de EPM. A pesar de hacerse un gran esfuerzo para legalizar las tomas, se afirma que es una tarea bastante deficitaria en las partes altas de la cuenca.

**Uso y manejo irracional del recurso hídrico en la zona rural.** Las infraestructuras toman más agua de la concedida, o tales obras en muchos casos carecen de una técnica o diseño. Por tal motivo se presenta exceso de captación, lo que lleva a un gasto desmedido por un lado, y por otro, escasez en otras zonas. La inconsistencia de estudios para otorgamiento de caudales, propicia niveles muy por debajo o nulos para caudal ecológico.

**Baja oferta hídrica en las zonas rurales.** Los fenómenos antrópicos – urbanos, y naturales han disminuido la calidad y cantidad del recurso notable y crecientemente en zona urbanizada de la cuenca.

**Oferta hídrica y cambio climático.** Hacen falta estudios sobre la inminente incidencia del fenómeno en el ciclo hídrico de la cuenca más con mayor población de la región.

**Calidad del agua.** Los indicadores denotan la falta de mayor control en los vertimientos. En zonas rurales la falta de sistemas de tratamiento de aguas residuales afecta la calidad del recurso aguas abajo. En la zona urbana, el problema está ligado a la ilegalidad de los vertidos domésticos e industriales.

**Aguas subterráneas.** Hay un desconocimiento importante de las existencias, calidad, dinámica y potencial acuífero. Calidad del agua asociada a mal uso de desechos y fugas de desechos industriales, hidrocarburos concretamente y lixiviados. Obstrucción en la recarga debido a la impermeabilización de suelos. Los estudios concluyen que el agua no es apta para consumo humano en parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, color, conductividad, cloruros, sulfatos, turbiedad, nitratos y nitritos, dureza total, sólidos, grasas y aceites. Haría falta estudiar otros parámetros (como metales pesados y otros) que permitan hacer un estudio del tipo de tratamiento a implementar para el aprovechamiento de tales aguas.

#### **d. Hidráulica**

Se definieron unas problemáticas comunes como inundaciones y desbordamientos. En la zona urbana, los causes están muy intervenidos e invadidos.

**Obras hidráulicas desarticuladas e inadecuadas.** Responden a la solución de problemas puntuales sin tener en cuenta las implicaciones en el resto del sistema. Se encuentran recurrentes problemas de inundación en cauces.

**Mantenimiento y rehabilitación de cauces naturales y obras hidráulicas.** No existe un programa preventivo de mantenimiento y rehabilitación de obras hidráulicas, sólo mitigación. Existe un riesgo latente y creciente que puede ser prevenido, por obsolescencia, sedimentación, fisuras.

**Aumento de la escorrentía.** Aumento de caudales máximos por canales y cauces de corrientes debido a la impermeabilización de suelos por urbanización.

**Insuficiencia en la capacidad hidráulica.** El cambio en las coberturas y usos del suelo ha hecho que los caudales de diseño con que se proyectaron y construyeron las actuales obras hidráulicas cambien, dejando insuficientes muchas de estas instalaciones.

#### **e. Suelos**

**Minería.** representa un problema ambiental debido a la falta de control de tales actividades. Hay desconocimiento de los impactos ambientales de estas prácticas en la cuenca, y sus consecuencias en la calidad del agua y estabilidad ecológica.

**Coberturas y uso actual del suelo.** Las principales fuerzas motrices que generan cambios importante en las coberturas en suelos rurales son la fragmentación de predios, la pérdida del valor productivo del suelo, y su cambio por valor inmobiliario, así como una nueva concepción de la ruralidad en tales zonas de la cuenca. Se resalta la incidencia de el modelo de producción – consumo, en el compromiso de recursos más allá de la cuenca, y la debilidad de políticas compensatorias y protectoras de recursos naturales.

Las coberturas de pastos y rastrojos representan una importante proporción en detrimento de la ocupación de ecosistemas estratégicos.

**Urbanización.** Se evidencia su influencia en la impermeabilización del suelo, y por tanto afecta a factores mencionados anteriormente.

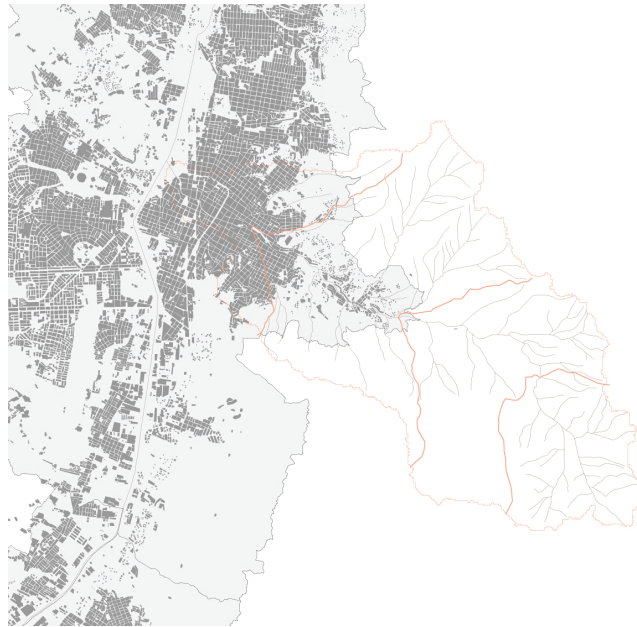


#### 5.4 Estado del recurso hídrico en la subcuenca

Dentro de los Planes de ordenamiento ambiental de la cuenca y subcuenca se ha encontrado información suficiente que debe ser precisada como el caso de la disponibilidad de agua en acuíferos y su calidad en parámetros como metales pesados e hidrocarburos.

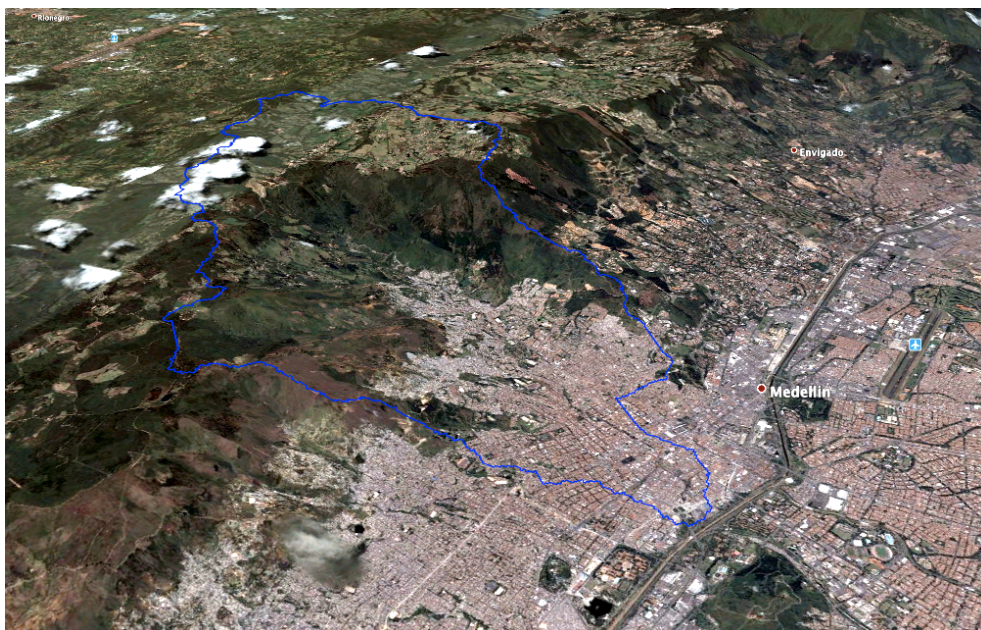
Los problemas generales que se presentan en las coberturas del suelo y su uso, la desarticulación de obras de infraestructuras, malos manejos de desechos, descargas directas a cuerpos de agua, e ilegalidad en acueductos la cuenca -según referencias-, pueden extenderse a las otras sub-cuencas. Tal panorama permitiría la replicación de planes y soluciones ajustados en otras zonas del valle.

**Figura 24. Red de drenaje.**



Elaboración propia referenciado en Google Earth

**Figura 25. Ámbito de estudio. Subcuenca (microcuenca) Santa Elena. Medellín**



Elaboración propia (referenciado en Google Earth)



Fuente: Archivo Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín.

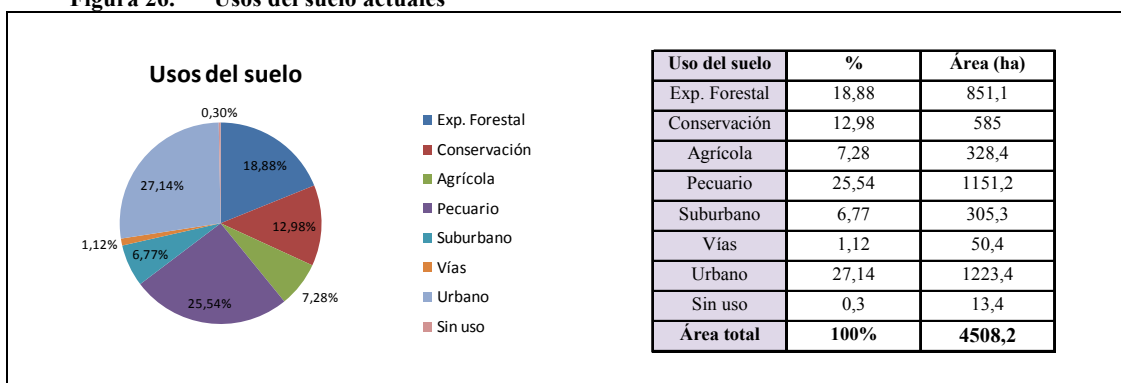
#### 5.4.1 Problemática ambiental asociada a recursos hídricos y conteo de áreas por usos del suelo

Con el fin de determinar la influencia de los usos del suelo en la respuesta hidrológica, se hizo una revisión del estado y cantidad de suelos según sus usos.

##### a. Usos del suelo

Se ve un predominio en los usos de producción y urbano, siendo las actividades pecuarias las predominantes, seguidas de las forestales y agrícolas. En total los suelos de producción suman 51,70%, en orden de mayor área a menor están los usos pecuarios, explotación forestal, y agrícola. Le sigue urbano con un 27,14%. El suelo de conservación representa 12,98%.

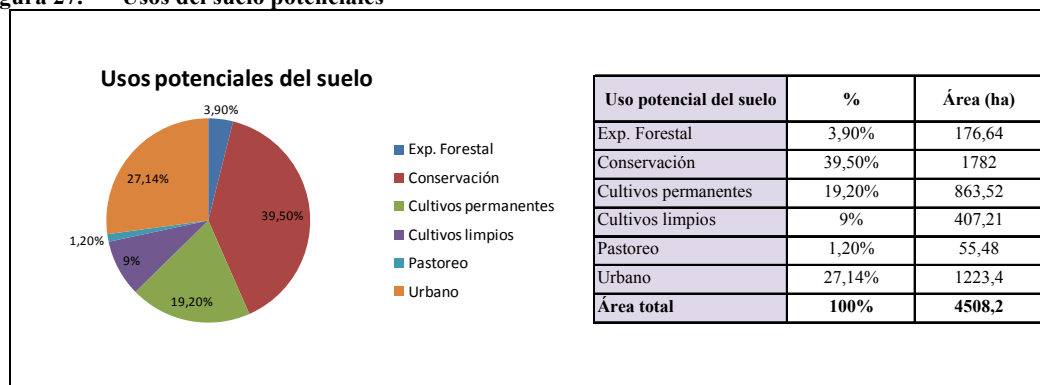
**Figura 26. Usos del suelo actuales**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

**Uso potencial del suelo:** En el estudio se estableció el potencial de producción agroforestal con el fin de hacer una comparación con los actuales usos y determinar conflictos.

**Figura 27. Usos del suelo potenciales**

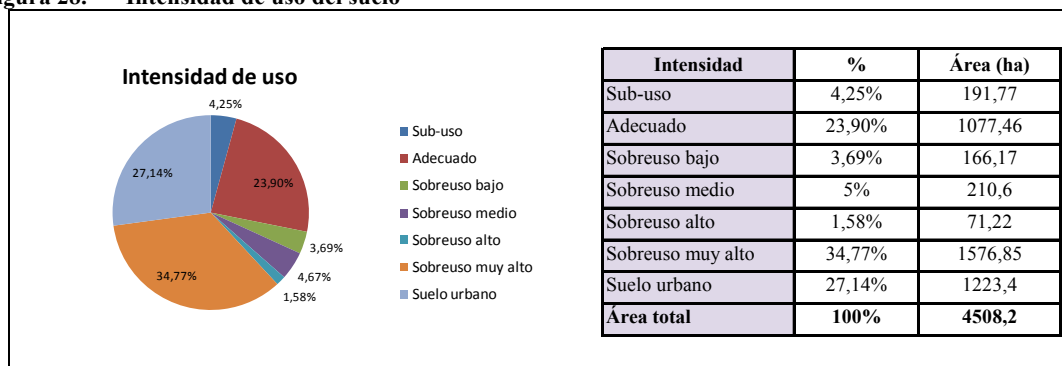


Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

Se observan diferencias notables en el uso potencial del suelo. En orden de mayor extensión potencial están los usos de conservación, luego suelos aptos para cultivos permanentes, para cultivos, explotación forestal y para pastoreo.

**Conflictos de uso:** El problema del mal uso del suelo se puede resumir en la Figura 28

**Figura 28. Intensidad de uso del suelo**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

**Uso del suelo urbano y suburbano:**

**Cuadro 13. Tratamientos del urbano suelo según Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín**

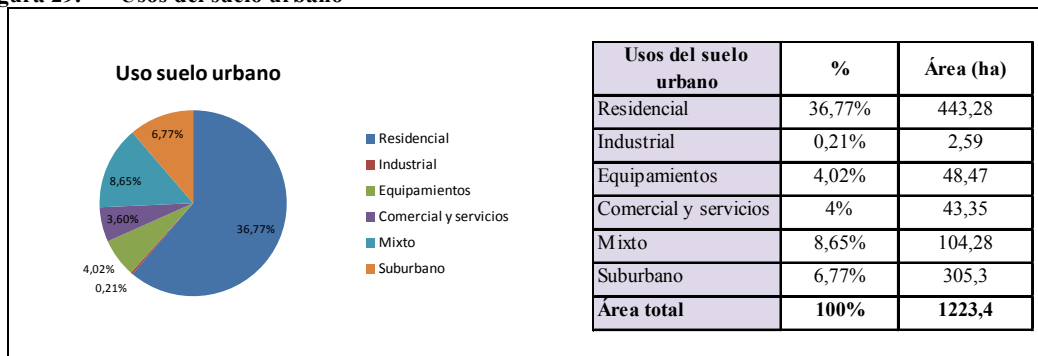
<b>Conservación</b>	Para la protección y recuperación de sectores con valor urbanístico, arquitectónico o paisajístico.
<b>Consolidación</b>	Afianzar zonas con un desarrollo definido y estable. Nivel 1 de ordenación y mantenimiento; Nivel 2 de cualificación y dotación; y Nivel 3 de generación de servicios e infraestructuras.
<b>Mejoramiento integral</b>	Mediante acciones como la legalización, normalización urbanística y ambiental se busca la integración socio-espacial, la equidad y la inclusión social de tales zonas de desarrollo, incompleto e inadecuado (barrios subnormales).
<b>Redesarrollo</b>	Áreas de transformación, con el fin de orientar los procesos de transformación ya iniciados o generar nuevos que tiendan a optimizar el potencial de la zona. Se distinguen tres grupos, según el grado de conformación urbanística.
<b>Renovación</b>	Promover transformaciones urbanas y el mejoramiento ambiental, urbanístico y social en zonas deterioradas o en conflicto funcional, como el centro tradicional.

Un poco más de la cuarta parte de la Microcuenca es urbana. En la parte baja la urbanización está muy consolidada, mientras que cerca de los límites del casco urbano, se encuentran barrios menos densos y considerados subnormales

posiblemente por la ilegalidad en el asentamiento. El resto de los suelos son rurales. En la Figura 29 se resumen los principales aspectos del la zona urbana:

### Suelo urbano

**Figura 29. Usos del suelo urbano**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

**Tabla 7. Detalle de las condiciones de sobreuso por urbanización**

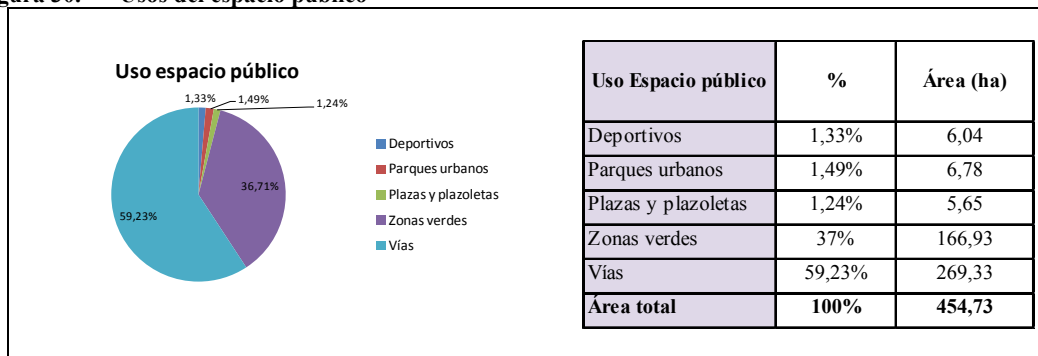
Densidad población rural [hab/Ha]	Densidad población urbana [hab/Ha]	Área bajo nivel de amenaza	Suelos urbanos y suburbanos	Sobreuso urbanístico
4,25	23,90	26,01%	33,91%	7,9%

Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

Con esto se concluye que el 7.9% del suelo urbano está localizado fuera de áreas seguras, como laderas y zonas de retiro de causes, por tanto se considera esto como un sobreuso.

### Espacio público

**Figura 30. Usos del espacio público**

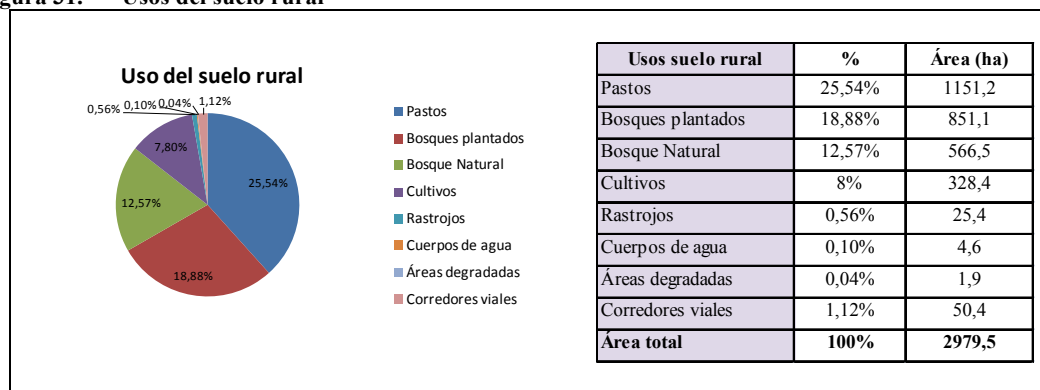


Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

**Suelo rural:** Comprende 2.979,5 ha está cubierta por otros que se muestran en la Figura 31:



**Figura 31. Usos del suelo rural**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

Mal uso del suelo urbano y suburbano. Aunque la mayor parte del área de la microcuenca es de uso rural, hay un proceso de consolidación y expansión que ya sobrepasó la capacidad de carga determinada en el estudio.

Se calcula que hay una población urbana en la microcuenca de 369.574 habitantes. El área urbana corresponde al 27,14% del área total, con una densidad de 306 habitantes/hectárea en la zona urbana.

En los suelos de uso suburbano o mixto la ley estipula que no menos del 70% de los predios deben estar destinados a la conservación de vegetación nativa, y que no puede haber más de una vivienda cada dos hectáreas. El POT va en contraposición permitiendo cinco viviendas por hectárea. Estos suelos representan el 6,77% del área total, en 305,3 ha, localizadas en la parte alta.

La capacidad de carga para fines urbanos y suburbanos está representada en las áreas con bajo nivel de amenaza. Estos suelos se encuentran en las partes baja y alta, y están distribuidas en un 26,01% de la microcuenca. Los usos urbanos son 33,91% del total del área, y la diferencia entre la capacidad de carga y el área urbana ocupada equivale al sobreuso de suelos urbanos y suburbano, que es un 7.9% y equivalen a 355,9 ha.

El área de espacio público efectivo suma 179,36 ha, y equivale a 4,8 m<sup>2</sup>/hab. Tal cantidad es inferior a la planteada por ley de 15 m<sup>2</sup>/hab .

En la zona rural, los principales espacios públicos previstos en el POT como zonas de protección suman 2367,12 ha, equivalentes al 52,5% del área total.

Si a esto se le suman las 50,4 ha de corredores viales rurales, se puede decir que la cuenca cuenta con una importante área de espacios públicos que comprenden 2.872,25 ha y que corresponden al 63,7% del área total. Sin embargo, las zonas de protección rural entran dentro de esta contabilización, y son el 52,5% de la microcuenca, y no representan espacio público efectivo ya que son parcelas particulares, ni un valor ecológico y paisajístico por que las normativas de retiros y usos no se cumplen.

## **b. Impactos ambientales de los usos**

### **Deforestación:**

Es un factor que evidencia cambios en el régimen de aguas, el paisaje, y la biodiversidad. Aunque no existen datos comparables sobre el tema, los análisis sobre aerofotografías denotan cambios en las coberturas, siendo un proceso común la quema de bosque nativo para la generación de potreros para uso pecuario. Los rastrojos que representan un 0,56% evidencian la pérdida de estas partes del ecosistema, aunque en zonas donde hay mixtura de tipo de cobertura puede haber algún tipo de regeneración del bosque.

#### **Pérdida de hábitats silvestres y deterioro de la fauna:**

El estudio estimó la pérdida de hábitats en un 86,87%, haciendo la salvedad que los bosques de explotación maderera no fueron contabilizados como pérdida a pesar de representar un cultivo más.

Hay tres factores fundamentales responsables de la pérdida de hábitats y biodiversidad: la deforestación de bosque nativo, la actividad agropecuaria, y la contaminación de los torrentes. La primera, que se debe a la segunda, se ha llevado por delante todo el sistema de soporte de la biodiversidad limitando las posibilidades de desarrollo de biodiversidad. Por otro lado, la introducción de especies domesticadas, el control de plagas y uso de fertilizantes, reduce las posibilidades de coexistencia de las nuevas especies, con las nativas.

La tercera ha afectado a la fauna de cursos de agua. No hubo un estudio profundo, pero por referencias se dedujo que la población de peces se ha reducido al máximo. No hay referencias en el documento de otras especies como las microbiológicas.

#### **Erosión:**

En el estudio se encontró evidencia de degradación del suelo por erosión. La deforestación, el uso intensivo de suelos pecuarios y obras civiles, sumados a las altas pendientes, la alta humedad y estado estructural de las rocas, son factores que han causado tales anomalías en el terreno.

---

#### **Cuadro 14. Principales proceso erosivos observados**

Movimientos en masa de tamaño, forma y génesis variados, especialmente del tipo deslizamiento rotacional. En las vertientes fuertemente inclinadas de los escarpes y filos altos y medios son frecuentes pequeños deslizamientos del tipo “golpes de cuchara”, que dejan una huella lineal en las laderas.

Flujos lentos, sin cizallamiento basal, manifestados en solifluxión plástica, visibles en algunos sectores de pastos en la Microcuenca media y alta.

Flujos rápidos, por traspaso del límite líquido, poco importantes en la actualidad pero muy activos en el pasado, manifestados en flujos de tierra y flujos torrenciales.

En muchas zonas de pastos hay terracetas de sobrepastoreo que frecuentemente pueden dar lugar a deslizamientos superficiales.

Elaboración propia. (Referenciado en PIOM, 2006).

---

#### **Cuadro 15. Efectos erosivos en la subcuenca**

Las zonas donde hay mayor densidad de cicatrices de movimientos en masa son el escarpe principal y los filos altos y medios desarrollados sobre las Dunitas de Medellín, caracterizadas por presentar pendientes altas a muy altas. En las zonas más pendientes de la Microcuenca es frecuente un tipo de deslizamiento de dimensiones reducidas (métricas), del tipo “golpe de cuchara”. En las zonas bajo cobertura de bosque este tipo de deslizamiento es común.

En la medida en que se desciende y la topografía se torna más suave, las cicatrices disminuyen, hasta casi desaparecer en las zonas de pendiente suave de los flujos de escombros y flujos de tierra de la Microcuenca baja, así como en las llanuras aluviales y aluviotorrenciales.

De igual manera, los procesos activos son muy raros en la zona plana a ligeramente ondulada del altiplano, en la Microcuenca alta.

A lo largo de los cursos de la quebrada Santa Elena y sus tributarios, en especial La Castro, La Mica y La Pulgarcita, se observan pequeños procesos de socavamiento lateral de las márgenes de las quebradas, en especial en los tramos cóncavos, donde la corriente impacta durante las crecidas. No obstante, estos procesos son de dimensiones métricas y ninguno de ellos alcanza dimensiones de peligro.

En el curso bajo de las quebradas, la urbanización no han respetado por lo general el retiro de las quebradas, lo cual hace que incremente la vulnerabilidad a los socavamientos y sus efectos directos e indirectos.

Elaboración propia. (Referenciado en PIOM, 2006).

Es usual que los fenómenos de erosión hídrica superficial se vuelven complejos y causen movimientos de masa leves pero que involucran gran cantidad de material. La acción de estos fenómenos puede ser realmente efectiva en zonas escarpadas tales como caminos y carreteables desprovistos de medidas hidráulicas de protección, o terrenos sin capa vegetal importante, causando problemas como el antes mencionado. La humedad del ambiente permite la rápida regeneración de cobertura vegetal, que mitiga tales impactos de la erosión.

La deforestación y el uso pecuario en suelos no aptos para tales usos son las principales causas de la descompensación ambiental referida a usos.

### c. Riesgo por inundaciones, avenidas torrenciales y desplazamiento de tierras

#### Desplazamientos de tierras

Como parte del estudio se elaboró un mapa de riesgo. Tal estudio determinó que:

**Tabla 8. Superficie de la cuenca en los diferentes niveles de amenaza y riesgo**

Nivel de amenaza/riesgo	Amenaza		Riesgo		Localización
	Área (Ha)	%	Área (Ha)	%	
Alto	320,54	7,11	145,78	3,23	Zonas de mayor pendiente de la microcuenca media, en la Microcuenca alta solo muy contados sectores de fuerte pendiente se han catalogado como riesgo alto.
Medio	3.014,90	66,88	2.007,73	44,53	Terrenos de pendiente moderada, especialmente en la misma Microcuenca media y los bordes del altiplano.
Bajo	1.172,80	26,01	2.354,73	52,23	Resto de la microcuenca, conformada en general por los terrenos de más suave pendiente del altiplano y de las planicies aluviales y aluviotorrenciales de la parte baja, en su mayor parte ocupada por la zona urbana de Medellín.
<b>TOTAL</b>	<b>4.508,24</b>	<b>100,00</b>	<b>4508,24</b>	<b>100,0</b>	

Elaboración propia. (Referenciado en PIOM, 2006).

Las áreas de riesgo medio y bajo se diferencian ligeramente de las de amenaza, debido a los factores de vulnerabilidad involucrado. En la zona urbana, las principales áreas de riesgo alto por movimientos en masa son los barrios periféricos del oriente de Medellín, con pendientes moderadas a fuertes, especialmente en la comuna Villa Hermosa, en total están afectados cerca de 198 predios, en principio susceptibles de programas de reubicación.

Los movimientos tierra afectan especialmente 4 zonas críticas localizadas a lo largo de la vía intermunicipal. El área de esta zona definida por el estudio como de amenaza alta de movimientos de tierra es de 320,54 ha, equivalentes al 7,11% del total.

**Inundaciones:**

Debido a la similitud de las manchas de inundación previstas para riesgo moderado y alto de periodos de retorno de 100-500 años y 100 respectivamente, el estudio de riesgo determina la mancha a 500 años como la de alto riesgo.

El cruce de información señaló a sectores urbanizados y con alto desarrollo de infraestructura vial, como de Alto Riesgo, entre los límites urbanos y la canalización subterránea del torrente principal, dejando 1.051 predios para posible reubicación.

La construcción de viviendas sobre los bordes del cauce principal representa un peligro por la posible erosión de las cimentaciones de las edificaciones.

**Tabla 9. Superficie con riesgo asociado a las inundaciones**

Riesgo asociado a inundaciones	Alto	Bajo o nulo	Total Microcuenca
Área (ha)	17,05	1,46	18,51
% Zona inundable	92,11	7,89	100,00
% Microcuenca	0,38	0,03	4.508,24

Elaboración propia. (Referenciado en PIOM, 2006).

Afectan especialmente los cursos inferiores de las quebradas. Representan una amenaza total en 18,51 ha que es el 0,41% de toda el área. Este peligro inminente se debe en primera instancia a la respuesta hidrológica por factores como alta pendiente, lluvias intensas, cambios bruscos de pendiente del cauce, la impermeabilidad del suelo, y los cambios en las coberturas en general aguas arriba. En segunda instancia las obras hidráulicas no tienen la capacidad para el caudal esperado en un evento de lluvia extremos.

**Retiros:**

Dentro de las observaciones iniciales se encontró que en ninguna parte de la microcuenca se seguía la normativa de retiros de aquel entonces. Los resultados de la metodología para determinar retiros de cauces constataron las observaciones iniciales de que tanto en el área urbana como en la rural, los retiros sobrepasan hasta en 2 y 3 veces el retiro estipulado en el POT.

**Cuadro 16. Usos del suelo propuestos por el PIOM para las zonas de retiro**

Usos permitidos	Vegetación natural protectora, restauración vegetal natural, senderos peatonales (máximo 1 a cada lado).
Usos restringidos:	Obras de infraestructura vial y de servicios públicos transversales a los cauces, o longitudinales solo en el retiro de servicios públicos, si está definido, minería, pesca, muelles de turismo ecológico, vivienda y construcciones en general por fuera del canal dominante.
Usos prohibidos	Agropecuarios en toda la zona, y construcción de viviendas y otros tipos de edificios, industria, comercio e institucionales en la franja del canal dominante.

Elaboración propia. (Referenciado en PIOM, 2006).

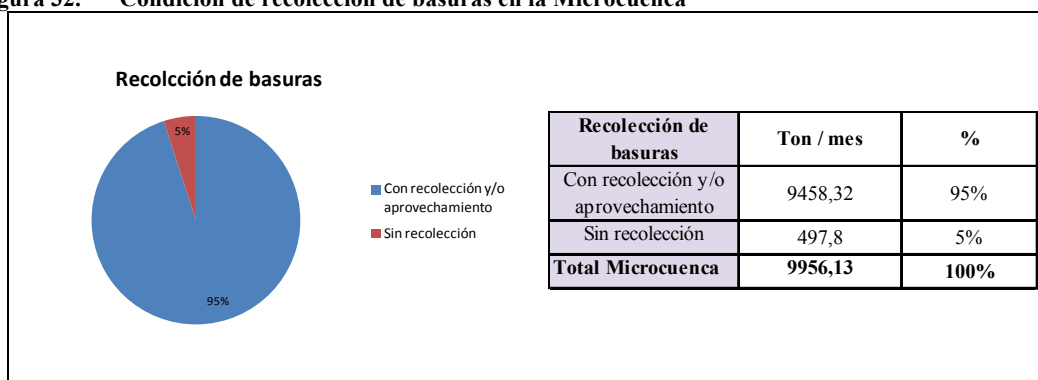
**Residuos sólidos**

La estimación del total de basuras generadas en la microcuenca son 9956.13 toneladas al mes. La cobertura de recogida de basuras es del 95%, con lo cual, queda



un 5% restante equivalente a 497,80 toneladas son arrojados incontroladamente en 209 lugares identificados -la mayoría (201) en la zona urbana- tales como riberas de quebradas o a campo abierto. 16,6 toneladas de residuos diariamente son manejadas inadecuadamente, depositando nutrientes, químicos y otros al medio natural, y contaminando directamente el agua. Esta anomalía sucede en la periferia de la zona urbana, por la dificultad en el acceso, la informalidad de los asentamientos, las malas prácticas de manejo de residuos y los altos costes del servicio para la población a servir.

**Figura 32. Condición de recolección de basuras en la Microcuenca**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

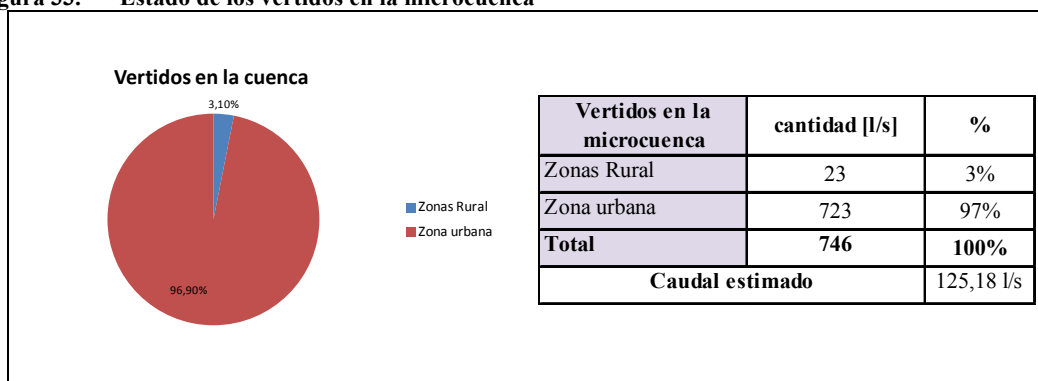
Los causes más afectados son La Arenera, Santa Lucia, la Cangreja, y La Castro con 13. En zonas residenciales y riveras se identificaron 151 puntos de vertido. El resto corresponde a disposición de escombros (79), aceite quemado (3), y residuos peligrosos (1).

**Calidad del agua:**

En 2005, muchos barrios marginales no estaban cubiertos por la red de aguas residuales, por lo que sus vertidos se hacían directamente en causes.

Es así como, en total, se encontraron 746 vertimientos directos a las fuentes, de los cuales:

**Figura 33. Estado de los vertidos en la microcuenca**



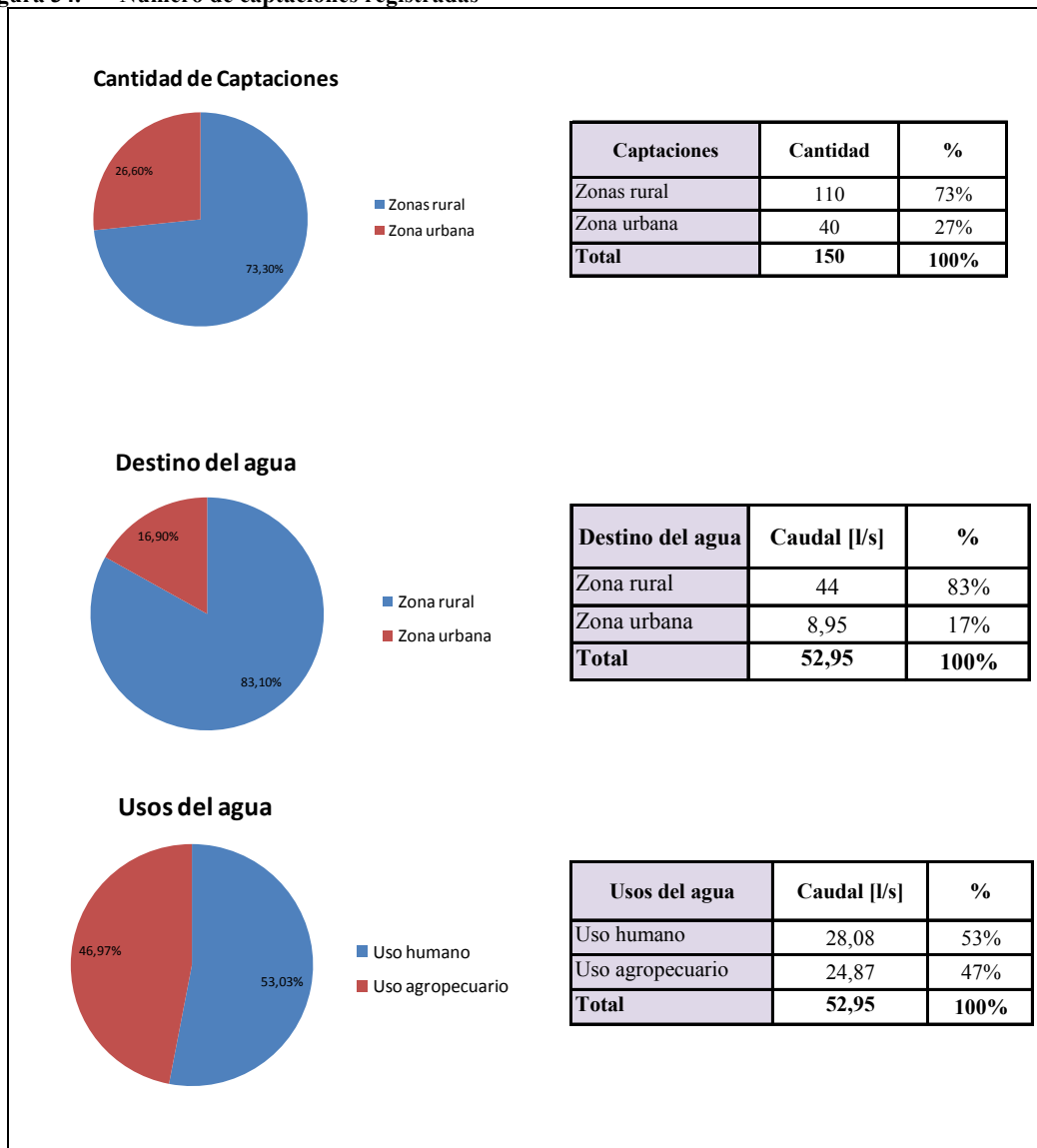
Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

Tales descargas empeoran la calidad del agua de la red de drenaje. En la parte alta de la cuenca, la calidad es buena, pero entre la parte media y baja se registran cambios negativos abruptos. Por tanto, los puntos críticos de calidad de agua y vertidos están en la parte baja de la microcuenca.

**Demanda de agua:**

Se estimó una población de usuarios de captaciones de 14.023 personas; 68% de zona rural y 32% de la zona periférica del municipio en la microcuenca. En la Figura 34 se resume la situación de cantidad de captaciones y usos.

**Figura 34. Número de captaciones registradas**



Elaboración propia. Con referencia en el PIOM, 2005

El estudio concluyó que en términos de escasez, la cuenca en general tiene un índice medio-alto, pero en su parte alta tal índice se acerca a una escasez alta. Esto denota un riesgo inminente para la población del altiplano.

El índice de escasez de la zona alta está entre el 49 y 49%, mientras que en toda la microcuenca está entre el 27 y 28%. La demanda no supera la oferta, pero se identificaron 150 captaciones ilegales en su mayoría, que utilizan en usos no domésticos la mitad del caudal captado. El agua captada no recibe ningún tipo de tratamiento, lo que repercute en problemas de salud (sostenibilidad). Se prevé un aumento de la demanda de 15,8% en el sector doméstico, 40,5% en zonas suburbanas

y de 43,7% en el sector agropecuarios. Dado que las empresas Públicas de Medellín prevén la cobertura en las zonas urbanas, se espera un aumento en la ilegalidad.

**Otros problemas:**

Dentro del análisis se incluyeron factores que desencadenan tales problemáticas y que son de orden social, cultural, institucional, legal y económico y que a continuación se resumen:

- Falta de sensibilidad, educación y capacitación ambiental: La comunidad necesita conocer y valorar tanto los recursos ambientales como las anomalías que puedan presentarse y que representen deterioro o riesgo. También es necesario un conocimiento de a qué instituciones pueden acudir para solucionar problemas ambientales.
- Organización social y participación: A pesar de haberse identificado cierto grado de organización, los temas ambientales no están dentro de sus agendas. Por tanto, la interlocución para el desarrollo de proyectos medioambientales se puede hacer con la comunidad directamente, ya que hay una gran participación.
- Articulación interinstitucional: Hay un desconocimiento de las competencias de las instituciones que administran y gestionan el territorio. También hay poca comunicación entre las instituciones y la comunidad.

#### **5.4.2 Marco analítico MPEIR**

#### **5.4.3 Proyecto Urbano Integral Centro oriental (PUI)**

Este tipo de planes son un compendio de proyectos de escala urbana que se vienen aplicando desde 2004. El éxito de éstos radica en la articulación de las diferentes secretarías y administraciones del municipio entorno zonas con grandes necesidades.

Estos planes formulan proyectos de inmediata ejecución y abordan aspectos como la movilidad, la vivienda, el medio ambiente, y los equipamientos públicos. La integralidad está ligada tanto a la amplitud de intervenciones, como en la participación y el carácter social.

EL PUI de la comuna Centro oriental se localiza dentro de microcuenca Santa Elena, en la periferia del centro de Medellín, atendiendo a los barrios con más necesidades y en puntos estratégico. En la Figura 35 se resumen los proyectos planteados por el PUI.

La idea de utilizar información del PUI para este trabajo, es poner en el marco real de actuación, una situación que pueda mejorar la respuesta hidrológica y ver la escala de magnitud con respecto a microcuenca. El proceso se explicará más adelante.

**Figura 35. Proyecto Urbano Integral Centro oriental**



Fuente: Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín. 2010

## 5.5 Diagnóstico del balance hídrico

Permitirá establecer relaciones entre problemáticas detectadas en el POMCA y el PIOM con las variaciones en el Balance.

Identificación de oportunidades en el PIOM y el PUI Santa Elena:

- Localización de zonas de prioridad y oportunidad de intervención
- Selección de un escenario en particular
- Selección de mecanismos de control

## 5.6 Ejercicio práctico

Se seleccionó la problemática de la escorrentía urbana para la aplicación práctica de un modelo matemático, dada su importancia en la planificación y manejo de infraestructuras urbanas, el riesgo, y la calidad de sistemas ambientales en zonas urbanas y periurbanas.

### 5.6.1 HMS-HEC. Modelo hidrológico seleccionado

Para contrastar el comportamiento hidrológico de la cuenca se hizo un modelo en el programa HEC-HMS. El software es de libre acceso y fue desarrollado por la US Army Corps of Engineers para la modelización hidrológica de cuencas hídricas mediante diferentes métodos. El modelo está enfocado a modelizar los procesos de lluvia-escorrentía para la solución de problemas en diferentes escalas o rangos geográficos, tales como disponibilidad de agua, impacto de actuales y futuros suelos de uso urbano, y la gestión y previsión de inundaciones, entre otros. HMS es un método agregado de simple utilización y los suficientemente bueno para el análisis que se pretende hacer. Aunque un modelo distribuido puede dar resultados más precisos para regiones y escalas de mayor resolución, se sale del alcance y objetivo planteados.

#### a. Componentes

El modelo calcula la respuesta de la escorrentía en una cuenca, según modelos meteorológicos según la adecuada introducción de información requerida y el control de tiempos de simulación.

El método del número de curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS) es uno de los más aceptados en hidrología para la estimación de la escorrentía directa a partir de una tormenta de diseño. La evaluación del método requiere de la caracterización de las propiedades del suelo, las cuales pueden obtenerse a partir de la cartografía. La popularidad de este método se basa en su conveniencia, simplicidad y asociación a cuatro características de la cuenca: el tipo del suelo, el uso del suelo, la pendiente y las condiciones de humedad antecedente en el suelo.

Existen dos razones para escoger el método del número de curva. La primera, es que a partir de un único valor, el CN, es posible estimar la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía directa. Y segundo, existen tablas que relacionan el CN con las características del suelo (ver Mockus, 1972 y Smeome et al., 2004)

La precipitación efectiva PE (la parte de la precipitación que produce escorrentía directa) calculada con este método corresponde a un exceso de infiltración, y se calcula mediante la ecuación:

$$PE(t) = P(t) \times \left( 1 - \frac{S^2}{(Pa(t) - P_0 + S)^2} \right)$$

Donde P(t) es la precipitación P en el tiempo t, P<sub>0</sub> es el umbral de lluvia a partir del cual comienza a producirse escorrentía, Pa es la precipitación acumulada y S es la capacidad máxima de almacenamiento de la cuenca. El valor de S se obtiene a partir del método del número de curva mediante la ecuación:

$$S = 254 \times \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Los valores del número de curva han sido estimados para diferentes combinaciones de uso del suelo y considerando el tipo de suelo definido a partir de las características hidrogeológicas. En la Tabla 10 se presentan los valores de número de curva utilizados para caracterizar el terreno de la cuenca de estudio:

**Tabla 10. Valores de número de curva en la caracterización del terreno**

Description of Land Use	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
<b>Paved parking lots, roofs, driveways</b>	98	98	98	98
<b>Streets and Roads:</b>				
Paved with curbs and storm sewers	98	98	98	98
Gravel	76	85	89	91
Dirt	72	82	87	89
<b>Cultivated (Agricultural Crop) Land*:</b>				
Without conservation treatment (no terraces)	72	81	88	91
With conservation treatment (terraces, contours)	62	71	78	81
<b>Pasture or Range Land:</b>				
Poor (<50% ground cover or heavily grazed)	68	79	86	89
Good (50-75% ground cover; not heavily grazed)	39	61	74	80
<b>Meadow (grass, no grazing, mowed for hay)</b>	30	58	71	78
<b>Brush (good, &gt;75% ground cover)</b>	30	48	65	73
<b>Woods and Forests:</b>				
Poor (small trees/brush destroyed by over-grazing or burning)	45	66	77	83
Fair (grazing but not burned; some brush)	36	60	73	79
Good (no grazing; brush covers ground)	30	55	70	77
<b>Open Spaces (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.):</b>				
Fair (grass covers 50-75% of area)	49	69	79	84
Good (grass covers >75% of area)	39	61	74	80
<b>Commercial and Business Districts (85% impervious)</b>	89	92	94	95
<b>Industrial Districts (72% impervious)</b>	81	88	91	93
<b>Residential Areas:</b>				
1/8 Acre lots, about 65% impervious	77	85	90	92
1/4 Acre lots, about 38% impervious	61	75	83	87
1/2 Acre lots, about 25% impervious	54	70	80	85
1 Acre lots, about 20% impervious	51	68	79	84

Fuente: Chow et al., 1988

**b. Modelo de cuenca**

Se definen las características físicas de la cuenca, y se conectan sus diferentes elementos. Estos son:

- Subcuencas, que reúne las características físicas de la cuenca.
- Alcance, enlaza el flujo aguas abajo en el modelo.
- Confluencia, para combinar los diferentes elementos hidrológicos aguas arriba.
- Fuente, que introduce flujo al modelo.
- Desembocadura, que representa la salida de las corrientes provenientes de aguas arriba.
- Elementos de reserva, permite modelar la retención y atenuación de la escorrentía.
- Desviación, para flujos que se alejan del cause principal.

**c. Componente Meteorológico**

Calcula la información pluviométrica requerida para la cuenca. Puede hacer el cálculo con lluvia puntual o con malla, así como puede calcular los efectos de la evapotranspiración y congelación.

Los métodos de cálculo son:

- Frecuencia de lluvia
- Calibrador de intensidades

- Cuadrícula de precipitación
- Distancia inversa
- Lluvia SCS
- Hietograma específico
- Lluvia estándar de proyecto

**d. Especificaciones de control**

Establece los periodos de tiempo en los que se va a correr la simulación teniendo en cuenta la fecha y hora de inicio y final de la simulación.

**e. Datos de entrada**

Diversos tipos de datos pueden introducirse en el modelo para hacer más precisa la modelación. Estos datos se dividen en series de tiempo, datos apareados, y datos de cuadrícula.

**f. Conceptualización**

**Pérdida;** abstracción de la lluvia neta.

**Transformación;** calcula la cantidad de lluvia neta que se convierte en escorrentía directa.

**Flujo de base,** para obtener la sumatoria de la escorrentía básica y la directa, y calcula la evolución de la escorrentía básica en el tiempo.

**5.6.2 Datos recogidos**

El capítulo de diagnóstico del recurso hídrico PIOM proporcionó los datos suficientes para la elaboración del modelo. Los datos se describen a continuación.

- Área: 45.08 Km<sup>2</sup>
- Impermeabilidad: 28,26%. Suelo Urbano + vías
- Número de curva<sup>9</sup>
- Tiempo de concentración 56.8
- Precipitación

**Tabla 11. Distribución de la lluvia en el tiempo de precipitación total acumulada**

<b>Tiempo acumulado (min)</b>	<b>Pta tr=2,33</b>	<b>Pta tr=5</b>	<b>Pta tr=10</b>	<b>Pta tr=25</b>	<b>Pta tr=50</b>	<b>Pta tr=100</b>
<b>8,02</b>	13,09	16,07	18,50	21,66	23,92	26,32
<b>16,05</b>	27,87	34,20	39,39	46,11	50,94	56,03
<b>24,07</b>	33,15	40,68	46,85	54,85	60,58	66,64
<b>32,09</b>	35,69	43,79	50,43	59,04	65,21	71,74
<b>40,12</b>	37,38	45,87	52,82	61,84	68,30	75,13
<b>48,14</b>	39,49	48,46	55,80	65,33	72,16	79,38
<b>56,16</b>	41,39	50,79	58,49	68,47	75,63	83,20

Elaboración propia

<sup>9</sup> **Número de Curva (CN).** El número de curva se calculó para suelo tipo B que es la condición más típica de suelos en esta zona, corresponde a suelos con arenas finas y limos. La condición de humedad antecedente se tomó como AMC III, con potencial de escorrentía máximo. Los CN utilizados son los siguientes: bosque 55; urbano 98; cultivo 71; pasto 79.

**Tabla 12. Cálculo del número de curva para Escenario 1, 2 y 3**

Tipo de suelo	CN Escenario actual	CN Nuevo escenario	% área existente	% área PIOM	% área PUI	CN % existente	CN % PIOM	CN % PUI
bosques buen estado	55	55	31.86	49.63	49.63	17.523	27.29	27.29
urbano	98	98	28.26	28.26	27.78	27.69	27.69	27.22
cultivo sin tratamiento	81	con tratamiento	71	7.28	16.87	16.87	5.89	11.97
pasto pobre (pastoreo intensivo)	79	bueno (pastoreo no intensivo)	61	32.61	5.23	5.71	25.76	3.19
<b>CN TOTAL</b>						<b>76.87</b>	<b>70.15</b>	<b>69.98</b>

Elaboración propia

### 5.6.3 Desarrollo

Se generaron tres modelos diferentes utilizando los datos del diagnóstico de hidrología y suelos del PIOM. Los tres ámbitos están definidos según el estado actual de la subcuenca, modificaciones en los usos del suelo según el PIOM, modificaciones según PIOM más intervenciones PUI, y estado natural. Los escenarios son:

- 1) estaco actual
- 2) modificaciones en los usos del suelo PIOM
- 3) modificaciones PIOM + PUI

#### a. Conceptualización del modelo

Las coberturas del suelo de la cuenca han sido modificadas a lo largo de la historia de los asentamientos en el Valles de Aburrá y sus alrededores. Estos cambios en las coberturas afectan a la respuesta hidrológica de la subcuenca. Esta respuesta se traduce en un cambio en el balance hidrológico que produce escenarios que demandan mayores intervenciones en infraestructuras para compensar los efectos negativos como inundaciones,

Los números de curva se calcularon para suelos B de la clasificación de Chow, que es la condición más típica de suelos en esta zona, y corresponde a suelos con arenas finas y limos

#### b. Clasificación

- Bosques: Se eligió como número de curva 55 correspondiente a Good (no grazing; brush covers ground).
- Cultivos: Se eligió como número de curva 81 para cultivos existentes y 71 cultivos nuevos. Esto quiere decir que los nuevos cultivos deben incluir técnicas que mejoren la retención.
- Pastos: Se eligió como número de curva 79 Poor (<50% ground cover or heavily grazed)
- Áreas desarrolladas: Se eligió como número de curva 98 para techos, aparcamiento y vías.

Discriminación de áreas: Se tomaron los datos del PIOM referentes a coberturas actuales del suelo. Se tomaron los nuevos usos del suelo propuestos por el plan. Se determinaron las coberturas asociadas al número de curva, y el área impermeable como parámetros determinantes de la respuesta hidrológica.

Se sumaron las áreas de intervención del PUI y se separaron en 2 grupos: suelos duros y zonas verdes. Se determinó que las zonas duras debían tener una capacidad suficiente en un nuevo escenario como para lograr una respuesta equivalente a la de números de curva de



bosques, igualmente para las zonas verdes. Esta área fue restada al área urbana como equivalente, y se traslado para bosques.

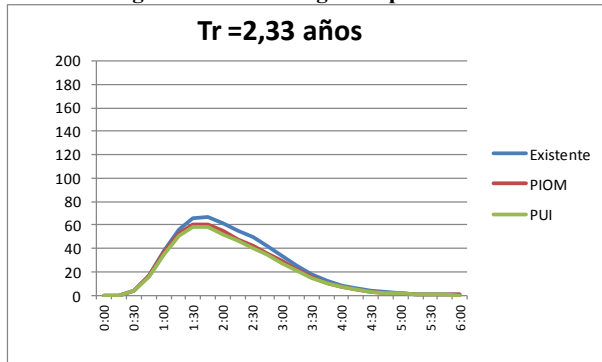
Se corrieron los modelos para los 3 escenarios y en los 6 periodos de retorno.

#### 5.6.4 Datos recuperados

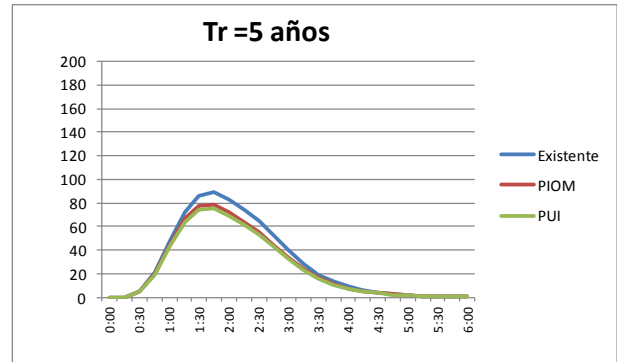
Una vez ejecutadas las simulaciones para tiempos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, se introdujeron los datos en tablas de Excel (ver Anexo III ). Luego se hicieron gráficas del hidrograma correspondiente a cada uno de los tiempos de retorno.

A continuación se muestran las gráficas:

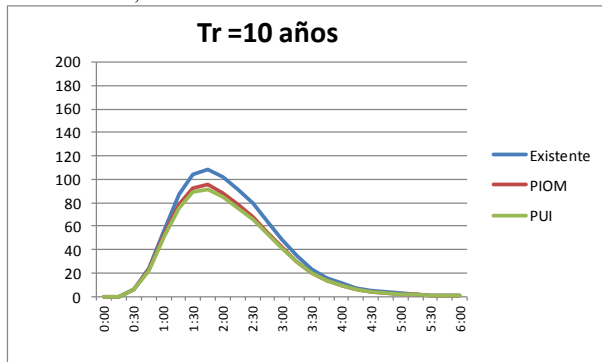
**Figura 36. Hidrograma para diferentes Tr**



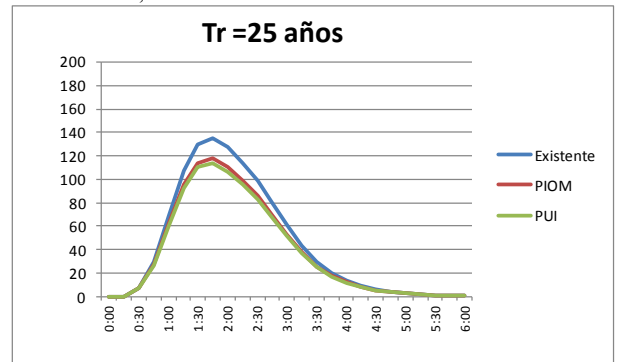
Escenario 1: 66,9 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 60,9 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 58,7 m<sup>3</sup>/s



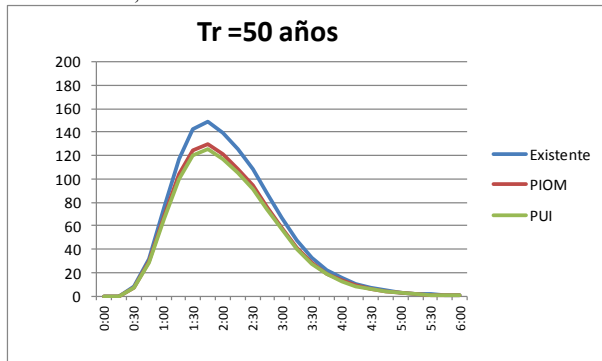
Escenario 1: 88,9 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 78,8 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 75,7 m<sup>3</sup>/s



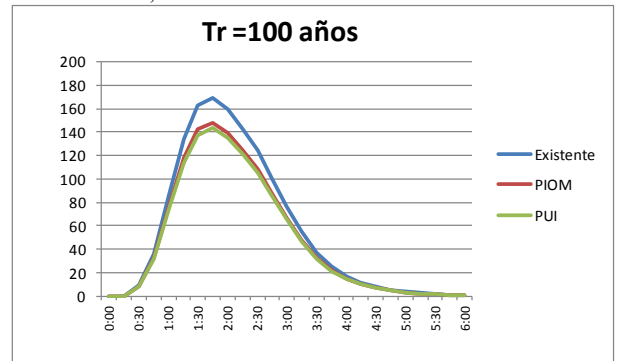
Escenario 1: 108,6 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 95,2 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 91,6 m<sup>3</sup>/s



Escenario 1: 135,2 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 118,0 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 113,8 m<sup>3</sup>/s



Escenario 1: 148,4 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 129,4 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 124,9 m<sup>3</sup>/s



Escenario 1: 169,6 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 147,9 m<sup>3</sup>/s  
 Escenario 1: 143,0 m<sup>3</sup>/s

Elaboración propia

## **6. Discusión**

El reto de la sostenibilidad económica, social, alimentaria y ambiental, –por nombrar algunos de los aspectos más relevantes- de los recursos hídricos, está en la capacidad de actuar en las diferentes escalas geográficas, lo que supone diversos marcos de referencia temporales y espaciales, consecuentes entre sí.

Dentro de esta visión en diferentes escalas, la cuenca hidrográfica permite una aproximación para la implementación de acciones concretas ya que vincula aspectos locales con los regionales, con una delimitación geográfica específica y características concretas de disponibilidad de recursos.

El trabajo se planteó en principio en el ámbito estricto de la microcuenca. Sin embargo, al comenzar a estudiar la problemática de la sostenibilidad y los modelos de desarrollo, surgió la necesidad de dar un poco más de amplitud para conectar ideas generadas desde las Naciones Unidas y otros organismos de escala global.

Hablar en los mismos términos permite comunicaciones e intercambios más fluidos. En el oficio de la planificación del territorio, el esfuerzo están en cambiar la manera de administrar el conocimiento y los recursos, y asumir un papel de gestor en marcos que cada vez más sólidos. Decidir sobre recursos hídricos en el territorio local implica actuar en una escala más amplia y viceversa.

## 7. Conclusiones

- La descripción de las problemáticas encontradas en la teoría sobre la presión generalizada de las ciudades sobre los recursos naturales, son confirmadas en el diagnóstico del PIOM. Esto demuestra la universalidad del problema de la insostenibilidad, y da luces sobre la importancia del intercambio de experiencias y conocimientos para la universalidad de soluciones.
- La gestión sostenible del agua en suelos urbanos de ciudades contemporáneas lleva una trayectoria importante (más de 3 décadas) en diferentes ciudades alrededor del mundo. Tal interés ha arrojado un conocimiento y experiencias que deben ser aprovechados en la planificación urbanística, de infraestructuras y obras públicas en general en ciudades con políticas ambientales y territoriales emergentes.
- Sólo el 7.7% del suelo en el Valle está bien utilizado –acorde al Plan de Ordenamiento Territorial- , lo que sugiere un vínculo estrecho entre la calidad aguas abajo y las coberturas y usos. Sin embargo, suelos clasificados para uso forestal de protección están localizados en zonas de altas pendientes, lo que sugiere intervenciones ajustadas a la realidad del terreno.
- Las coberturas y usos del suelo han alterado los caudales de diseño iniciales de infraestructuras hidráulicas, generando una potencial insuficiencia con el tiempo en estas instalaciones de soporte.
- El aumento en la escorrentía representa un factor determinante en el arrastre de sólidos disueltos (88%) que llegan al cauce principal del cauce principal. Es necesario introducir nuevos enfoques como el WSUD, técnicas y tecnologías para la restauración y protección de ecosistemas.
- Las tendencias a nivel nacional y regional se ven reflejadas en el ámbito de la microcuenca en cuanto a sectores de consumo. El crecimiento de las actividades agropecuarias representa una presión creciente.
- La incidencia de las exportaciones en la transformación de los recursos naturales es una realidad que otros países ya han vivido. A través de las tendencias en la demanda del agua, se pueden entrever las de necesidad de suelos aptos para actividades pecuarias, y la intensidad en la producción, lo que tendrá un claro impacto en la calidad del agua, el suelo, y la respuesta hidrológica.
- Es necesario que los técnicos conozcan muy bien las diferentes herramientas y las sepan leer, para utilizarlas en desarrollos con un mayor impacto positivo en la calidad del medio ambiente. Los PUI son mecanismos de grandes transformaciones por que concentran mucha inversión en proyectos articulados y son administrativamente muy eficientes. Por tal motivo, representan oportunidades para la implementación de sistemas de control de recursos hídricos y contaminación.
- Los sistemas de control a nivel global de cuenca no ejercen grandes variaciones en la respuesta hídrica, pero tal vez sí lo haga en el control de contaminantes. De cualquier modo, no se espera que lo haga, pero sí que minimice el impacto como medidas compensatorias y ayude en la resiliencia de la ciudad.
- Los cambios a nivel de cuenca se pueden hacer concretamente en el régimen de los usos y coberturas del suelo; protección y restauración de hábitats. En la zona urbana,

ejercer el ejercicio de la planificación y diseño urbano sensibles al agua, incluyendo sistemas que compensen los cambios drásticos generados.

## **8. Bibliografía**

Área metropolitana del Valle de Aburrá. Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del Río Aburrá, aspectos principales. Primera edición Medellín: Impregon S.A. 2007. ISBN 978-958-44-2390-0.

Área metropolitana del Valle de Aburrá, consorcio epam s.a. Plan De Ordenación Y Manejo De La Microcuenca De La Quebrada Santa Elena Municipio De Medellín. Medellín, 2007.

AEMA., 1998. Europe's Environment: The Second Assessment. Office for Official Publications of the European Communities ed., Elsevier Science, 1998.

Agencia de Ecología Urbana de Barcelona., 2007. Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla. In: Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla Ayuntamiento de Sevilla. Plan Especial De Indicadores De Sostenibilidad Ambiental De La Actividad Urbanística De Sevilla.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá., 2005. Plan De Ordenación y Manejo De La Cuenca Del Río Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá .

Axel Dourojeanni and Andrei Jouravlev., 1999. Gestión De Cuencas y Ríos Vinculados Con Centros Urbanos. Comisión Económica para América Latina y el Caribe ed., , 16 de diciembre de 1999 ISBN 99-12-968.

European Environment Agency., 2003. Europe's Water: An Indicator-Based Assessment. European Environment Agency ed., Copenhagen: ISBN 92-9167-581-4.

Grau, R. and Aide, M. 2007. Are Rural–Urban Migration and Sustainable Development Compatible in Mountain Systems? 2nd ed. Mountain Research and Development, May 2007.

Houghton, J.; Jenkins, G. and Ephraums J. 1990. Intergovernmental Panel on Climate Change.. Climate Change: The IPCC Scientific Assesment. ed., Cambridge: Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 0 521 40360 X.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., 2010. Estudio Nacional Del Agua 2010. Bogotá D.C.: ISBN 978-958-8067-32-2©.

J. Marsalek, B.E. Jiménez-Cisneros, P.-A. Malmquist, M. Karamouz, J. Goldenfum and B. Chocat., 2006. Urban Water Cycle Processes and Interactions. International Hydrological Programme (IHP) of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) ed., Paris, FRANCE: UNESCO's workshops.

JIMÉNEZ HERRERO, L.M., Espanya, Observatorio de la Sostenibilidad en España and Expo Zaragoza 2008., 2008. Agua y Sostenibilidad :Funcionalidad De Las Cuencas. Madrid: Observatorio de Sostenibilidad en España.

LENTON, R., WRIGHT, A.M. and LEWIS, K., 2005. Health, Dignity, and Development: What Will it Take? Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo ed., Londres, Reino Unido.: EARTHSCAN ISBN 1-84407-219-3.

MAGRINYÀ, F., HERCE, M. and MIRÓ FARRERONS, J., 2006. Construcció De Ciutat i Xarxes d'Infraestructures. 2a ed. Barcelona: Edicions UPC ISBN 9788483018781.

Manuel Gómez Valentín, 2006. LLUVIA NETA. PERDIDAS DE PRECIPITACION. TIEMPO DE CONCENTRACION EN ZONA URBANA. Curso Hidrología Urbana. 6ª ed.

Millennium Ecosystem Assessment Program., 2005. Ecosystems and Human Well-being: Our Human Planet . Rashid Hassan, Robert Scholes, Neville Ash ed., Island press, 2005 ISBN 1-55963-227-5.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL., 2010. Política Nacional Para La Gestión Integral Del Recurso Hídrico. Bogotá, D.C.: Colombia: Nuevas Ediciones Ltda., Marzo de 2010 ISBN 978-958-8491-35-6.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente., 2008. Metodología Para La elaboración De Los Informes GEO Ciudades. 3ª ed. ciudad de Panamá: ISBN ISBN 978-9962-8942-0-9.

Programa de les Nacions Unides per a la Defensa del Medi, 2000. Perspectivas Del Medio Ambiente Mundial GEO 4: Medio Ambiente Para El Desarrollo.

Régis Bourrier., 2008. Les Réseaux d'Assainissement : Calculs, Applications, Perspectives. Tec & Doc Lavoisier ed., 5<sup>e</sup> ed. Paris: , 19 juin 2008 ISBN 978-2743010515.

Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburg, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttonk & Marjan van den Belt, 1997. The Value of the world's Ecosystem Services and Natural Capital. NATURE, 15 MAY 1997, vol. 387.

Rodrigo Marín Ramirez, 2002. Colombia: Potencia hídrica Colombia ISSN: 0037-8577 Ed: Editora Guadalupe. Boletín Sociedad Geográfica De Colombia, Academia Colombiana De Ciencias Geográficas, vol. 46, no. 1, pp. 121.

UN HABITAT., 2008. State of the World's Cities 2008 2009. UN HABITAT ISBN 978-92-1-132010-7.

UN HABITAT., 2008. State of the World's Cities 2008/2009 Harmonious Cities. ISBN 9789211320107.

Unesco., 2006. Water: A Shared Responsibility. Paris: Unesco ISBN 9231040065; 1845451775.

Wordwatch Institute., 2006. The State of the World 2006: The Challenge of Global Sustainability. Earthscan ed., The Cromwel Press ISBN 978-1-84407-275-4.

Worldwatch Institute., 2007. STATE OF THE WORLD 2007: our Urban Future. London: W.W. Norton & Company, Inc ISBN 0-393-06557-X.

The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009. Concept Design Guidelines for Water Sensitive Urban Design. Queensland. ISBN: 978-0-9806278-1-7

Alcaldía de Medellín. 2010. Plan Urbano Integral Comuna Centro Oriental. Medellín. Empresa de Desarrollo Urbano de Medellín.

## ANEXO I

## Coberturas actuales de la Microcuenca Santa Elena

Uso suelo	Área (Ha)	Porcentaje	Cobertura vegetal	Área (Ha)	%
Forestal	851,1	18,88%	Bosque plantado de ciprés	12,6	0,28%
			Bosque plantado de eucalipto	666,2	14,78%
			Bosque plantado de pinos	80,6	1,79%
			Bosque plantado y rastrojo bajo	22,9	0,51%
			Bosque plantado y pasto natural	68,9	1,53%
Conservación	566,5	12,57%	Bosque secundario y / o árboles aislados	224,2	4,97%
			Bosque ribereño y rastrojo alto	342,3	7,59%
Conservación	13,9	0,31%	Rastrojo alto	3,6	0,08%
			Rastrojo alto y rastrojo bajo	10,3	0,23%
Conservación	4,6	0,10%	Cuerpos de agua	0,2	0,00%
			Cursos de agua	4,4	0,10%
Agrícola	328,4	7,28%	Cultivos	47,8	1,06%
			Cultivos y pasto natural	280,6	6,22%
Pecuario	1151,2	25,54%	Pastos de pastoreo	715,9	15,88%
			Pasto enmalezado y pastos arbolados	435,3	9,66%
Suburbano	305,3	6,77%	Mixta (construcciones dispersas rurales)	305,3	6,77%
Transporte	50,4	1,12%	Sistema vial (construida)	50,4	1,12%
Urbano	1223,4	27,14%	Área construida	1223,4	27,14%
Sin uso	13,4	0,30%	Rastrojo bajo con o sin erosión	11,5	0,26%
			Eriales	1,9	0,04%
<b>Área Total</b>	<b>4508,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>Área Total</b>	<b>4508,2</b>	<b>100,0%</b>

## Coberturas de la Microcuenca Santa Elena propuestas por el PIOM

Clase mayor	Área (Ha)	Porcentaje	Descripción	Área (Ha)	Porcentaje
Suelos forestales	855,35	18,97%	Bosque productor BPR	319,72	7,08%
			Bosque protector productor BPP	416,34	9,24%
			Bosque protector BP	119,29	2,65%
Suelos agroforestales	182,96	4,06%	Silvopastoril SP	9,10	0,20%
			Agrosilvopastoril ASP	39,36	0,87%
			Silvoagrícola SA	134,50	2,98%
Suelos de protección	1.199,35	26,60%	Protección/ conservación P/C	1.199,35	26,60%
Suelos agrícolas	760,81	16,87%	Cultivos limitados CL	182,74	4,05%
			Cultivos moderados		
			Cultivos intensivos CI	578,07	12,82%
<b>Suelos pecuarios</b>	<b>236,01</b>	<b>5,23%</b>	Pastos P	<b>236,01</b>	<b>5,23%</b>
Vías y caminos	50,36	1,12%	Vías y caminos rurales vía	50,36	1,12%
Área urbana	1.223,39	27,14%	Uso urbano* Ur	1.223,39	27,14%
<b>TOTAL</b>	<b>4.508,24</b>	<b>100%</b>		<b>4.508,24</b>	<b>100%</b>

**ANEXO II****Discriminación de áreas en los proyectos incluidos en el Plan Maestro del PIOM**

Proyecto	Área espacio público duro			Área espacio público verde		
	Descripción	Subdivisión	Área	Descripción	Subdivisión	Área
<b>Movilidad y espacio público</b>						
<b>Paseo urbano Ayacucho</b>	Andenes		19.925,00			
<b>Carreras 8A y 9</b>	Andenes		6.545,00	Zonas verdes		320,00
<b>Vías La Fraternidad</b>	Vías		3.500,00			
	Andenes		3.000,00			
<b>Conectividad La Fraternidad-Santa Elena</b>	Plazoleta y vía		2.975,71	Zonas verdes		14.358,67
		senderos	783,33			
<b>Circuito vial Las Mirlas</b>	Zonas duras		17.680,00			
<b>Acequia</b>	Zonas duras	1	1.140,00			
	Zonas duras	2	2.586,00			
<b>Vía La Sierra - Estrechuras</b>	Vías + andenes		1.417,00			
<b>Espacio público</b>						
<b>Parque Bicentenario</b>	Zonas duras		5.775,38	Zonas verdes		8.606,76
<b>Parque La Milagrosa</b>	Andenes		3.375,00			4.571,04
	Vías		4.418,70			
	Circulaciones		2.028,32			
<b>Paseo urbano carrera 29</b>	Andenes	1	11.559,72			
		2	1.370,60			
	Vías		5.773,00			
	Plazoleta		1.451,00			
<b>Parque Buenos Aires</b>	Espacio público		6.649,00	Zonas verdes		1.002,52
<b>Unidad deportiva La Fraternidad</b>	Cancha	1	1.473,00	Zonas verdes		56.094,00
		2	4.050,00			
		3	2.316,00			
		4	2.100,00			
	Pista trote		696,00			
	Salto		110,00			
	Circulaciones y estancias		4.883,40			
<b>Espacio público jardín infantil El Pinal</b>	Andenes		1.517,69	Área cultivos		1.938,00
	Vías		702,82	Zonas verdes naturales		2.926,18
	Área semillas		351,72	Paisajismo		1.731,33
	Placa polideportiva		543,62			
<b>Parque iglesia Santa Mónica</b>	Paseo de Ayacucho		1.473,00	Zonas verdes		6.096,00
	Carrera 26A		4.050,00	Agua		110,00
	Carrera 26		2.316,00			



Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica **Santa Elena en el Valle de Aburrá**

	Pasos en piedra		1.225,81			
<b>Unidad deportiva y recreativa Miraflores</b>	Zonas duras		4.700,00	Zonas verdes		18.424,00
	Escenarios deportivos		5.575,00			
	Andenes		890,00			
	Circulaciones		2.509,00			
<b>Conectividad quebrada Santa Elena - El Pinal</b>	Andenes		2.821,70	Zonas verdes		6.655,52
	Vías		2.509,00			
	Cancha		600,00			
<b>Parques de conectividad Santa Elena – La Libertad</b>	Andenes, escaleras y miradores		4.083,15	Zonas verdes		5.281,00
	Cancha		388,64			
<b>Unidad deportiva y recreativa Alejandro Echavarria</b>	Zonas duras		1.000,00	Zonas verde		2.685,00
	Escenarios deportivos		4.533,00			
	Andenes		3.623,00			
<b>Espacio público Las Estancias - cerro Los Valores</b>	Zonas de estancia		1.100,00	Zonas verdes		7.427,00
	Circulación peatonal		270,00			
	Vías		6.500,00			
<b>Espacio público Las Estancias</b>	Zonas de estancia		1.100,00			
	Circulación peatonal		400,74			
	Parqueaderos		320,00			
<b>Unidad deportiva y recreativa Las Estancias</b>	Zonas duras		1.571,00	Zonas verdes		825,00
	Cancha de fútbol		372,00			
<b>Conectividad quebrada Santa Elena - Villatina</b>	Andenes y circulaciones		2.592,00	Zonas verdes		1.992,70
	Escenarios deportivos		372,00			
<b>Conectividad quebrada Santa Elena - Barrios de Jesús</b>	Vías + andenes	1	1.130,00			
		2	1.150,00			
		3	2.275,00			
	Circulación peatonal		356,00			
<b>Parque de la memoria Villatina</b>	Circulación peatonal	1	1.750,00	Campo santo		16.600,00
		2	4.650,00			
		3	5.400,00			
<b>Equipamientos públicos</b>						
<b>Colegio Ocho de Marzo</b>	Zonas duras		1.827,00	Zonas verdes		1.997,00
	Campo deportivo		510,00			
<b>Colegio La Sierra</b>	Campo deportivo		420,00	Área libre		2.243,00
<b>Jardín infantil El Pinal</b>	Espacio público de acceso		500,00			
	Área recreativa		800,00			
<b>Pabellón INDER</b>				Área libre		145,00

Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica **Santa Elena en el Valle de Aburrá**

<b>Miraflores</b>						
<b>Equipamiento comunitario El Pinal</b>	Circulaciones y estancias		1.151,88	Zonas verdes		171,60
<b>Centro social y comunitario Las Estancias</b>	Zonas duras		2.618,00	Zonas verdes		5.556,00
<b>Proyectos de vivienda PUI Centrorienta</b>						
<b>Vivienda Las Miras</b>	Senderos y plazuelas		3.697,00	Zonas verdes		8.562,00
	Canchas		720,00			
	Juegos infantiles		219,00			
<b>Medio ambiente</b>						
<b>Parque lineal quebrada Santa Elena t1</b>	Mejoramiento de andenes		398,50	Área espacio público ambiental		10.475,00
<b>Parque lineal quebrada Santa Elena t2</b>	Mejoramiento de andenes		662,20	Área espacio público ambiental	1	5.230,00
					2	11.385,00
<b>Ecoparque Villa Turbay</b>	Circulación		1.740,00	Cultivos		15.000,00
	Espacio público y senderos		8.000,00			
	Zonas duras		110,00			
<b>Ecoparque Llanaditas</b>	Senderos		700,00	Zonas verdes		2.290,00
	Cancha		250,00	Vivero		60,00
				Cultivos agroforestales		15.000,00
<b>Áreas Totales</b>			<b>218.626,63</b>			<b>235.759,32</b>

### ANEXO III

#### Caudales obtenidos durante la simulación para diferentes periodos de retorno

Intervalo de simulación	Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =2,33 años			Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =5 años		
	Existente	PIOM	PUI	Existente	PIOM	PUI
0:00	0	0	0	0	0	0
0:15	0	0	0	5,3	5,3	5,1
0:30	4,4	4,4	4,2	20,8	20,1	19,4
0:45	16,7	16,4	15,9	47,6	45	43,4
1:00	37,6	36,5	35,2	72,2	66,5	64
1:15	55,9	53,1	51,2	86,1	77,6	74,7
1:30	65,6	60,9	58,7	88,9	78,8	75,7
1:45	66,9	60,8	58,4	82,9	72,1	69,3
2:00	61,5	54,6	52,4	74,1	63,8	61,4
2:15	55,3	48	46,1	64,4	55,2	53,2
2:30	49,5	42,4	40,7	52,5	44,8	43,2
2:45	42,7	36,3	34,9	39,9	34	32,9
3:00	34,3	29,1	27,9	28,5	24,3	23,4
3:15	25,6	21,7	20,8	19,3	16,4	15,9
3:30	18	15,3	14,7	13,1	11,2	10,8
3:45	12,3	10,4	10	9	7,7	7,4
4:00	8,4	7,1	6,8	6,2	5,2	5,1
4:15	5,7	4,8	4,7	4,2	3,6	3,5
4:30	3,9	3,3	3,2	2,9	2,5	2,4
4:45	2,7	2,3	2,2	2	1,7	1,6
5:00	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1	1,1
5:15	1,2	1,1	1	0,9	0,7	0,7
5:30	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
5:45	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
6:00	0,3	0,3	0,2	0	0	0

Intervalo de simulación	Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =10 años			Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =25 años		
	Existente	PIOM	PUI	Existente	PIOM	PUI
0:00	0	0	0	0	0	0
0:15	0	0	0	0	0	0
0:30	6,1	6,1	5,8	7,3	7	6,8
0:45	24,4	23,2	22,4	29,5	27,4	26,4
1:00	56,5	52,6	50,7	69	62,9	60,5
1:15	86,9	78,7	75,8	107,1	95,6	92
1:30	104,5	92,9	89,4	129,6	114,1	110
1:45	108,6	95,2	91,6	135,2	118	113,8
2:00	101,8	88	84,8	127,2	110,1	106,3
2:15	91,1	78,4	75,6	114	98,4	95,3
2:30	79,2	68	65,8	99	85,6	83
2:45	64,6	55,4	53,6	80,6	69,7	67,7
3:00	49,1	42,1	40,8	61,3	53	51,5
3:15	35	30	29,1	43,7	37,8	36,7
3:30	23,7	20,3	19,7	29,6	25,6	24,9
3:45	16,1	13,8	13,4	20,1	17,4	16,9
4:00	11,1	9,5	9,2	13,8	12	11,6
4:15	7,6	6,5	6,3	9,5	8,2	7,9
4:30	5,2	4,4	4,3	6,4	5,6	5,4
4:45	3,6	3,1	3	4,4	3,8	3,7
5:00	2,5	2,1	2	3,1	2,6	2,6
5:15	1,7	1,4	1,4	2,1	1,8	1,7
5:30	1,1	0,9	0,9	1,3	1,1	1,1
5:45	0,6	0,5	0,5	0,8	0,7	0,7
6:00	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,4

Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica **Santa Elena en el Valle de Aburrá**

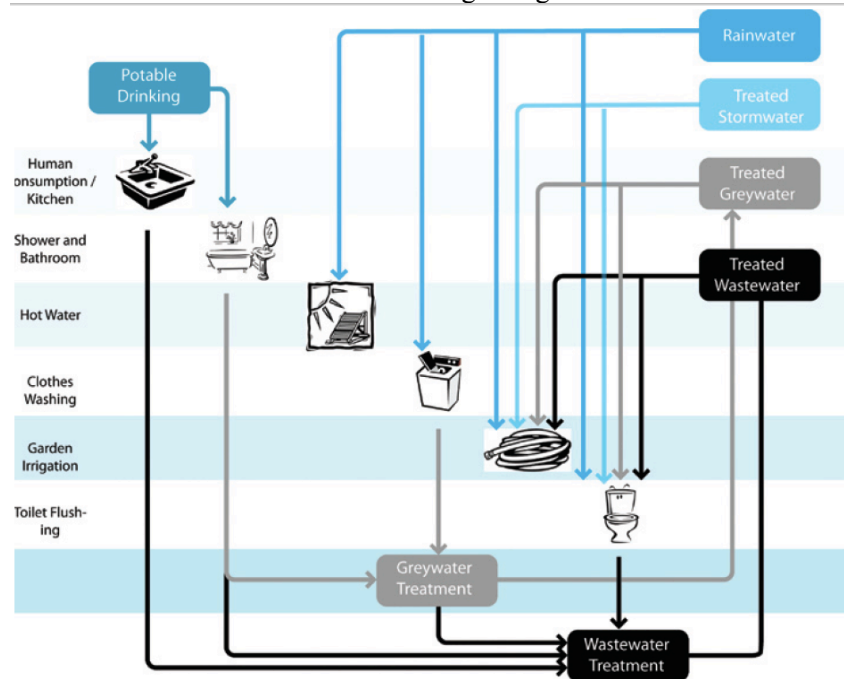
Intervalo de simulación
0:00
0:15
0:30
0:45
1:00
1:15
1:30
1:45
2:00
2:15
2:30
2:45
3:00
3:15
3:30
3:45
4:00
4:15
4:30
4:45
5:00
5:15
5:30
5:45
6:00

Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =50 años		
Existente	PIOM	PUI
0	0	0
0	0	0
7,9	7,5	7,2
32,1	29,5	28,4
75,2	68,1	65,5
117,2	104,1	100,3
142,1	124,8	120,4
148,4	129,4	124,9
139,6	121	117,1
125,1	108,3	105
108,6	94,2	91,5
88,4	76,7	74,6
67,2	58,4	56,8
47,9	41,6	40,5
32,4	28,2	27,4
22,1	19,2	18,7
15,2	13,2	12,8
10,4	9	8,8
7,1	6,1	6
4,9	4,2	4,1
3,4	2,9	2,8
2,3	2	1,9
1,5	1,3	1,2
0,9	0,8	0,7
0,5	0,5	0,4

Caudal [m <sup>3</sup> /s] para Tr =100 años		
Existente	PIOM	PUI
0	0	0
0	0	0
8,9	8,3	8
36,4	33	31,8
85,5	76,6	73,8
133,6	118	113,8
162,3	142,2	137,3
169,6	147,9	143
159,7	138,8	134,5
142,9	124,3	120,7
124	108,1	105,2
100,9	88,1	85,8
76,7	67	65,3
54,6	47,8	46,6
37	32,3	31,5
25,2	22	21,5
17,3	15,1	14,7
11,8	10,3	10,1
8,1	7	6,9
5,5	4,9	4,7
3,8	3,3	3,3
2,6	2,3	2,2
1,7	1,4	1,4
1	0,9	0,9
0,6	0,5	0,5

## ANEXO IV

Diversificación de agua según usos



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

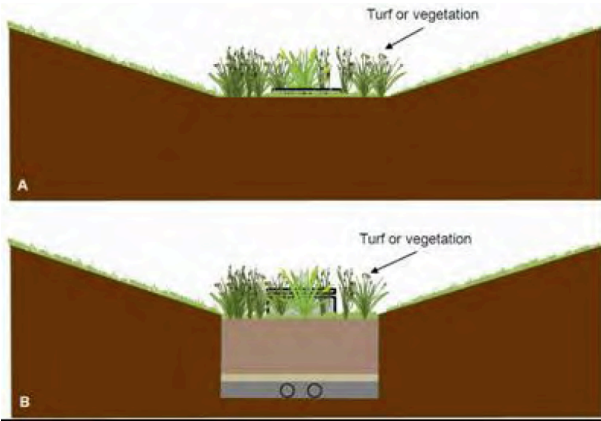
Diversificación de agua según usos

fuente	Áreas de uso							
	Riego	Cocina		Lavado		Servicios	baño	
<b>Agua potable</b>	3	1	2	1	2	3	1	2
<b>Aguas residuales</b> Purificada reciclada Grices tratadas	3	1	2	1	2	3	1	2
	2	4	4	4	4	2	4	4
<b>Aguas pluviales</b>								
Agua lluvia	2	2	1	1	1	2	2	1
escorrentía	2	4	4	3	3	2	4	4

**1. Uso óptimo 2. Uso compatible 3. Medio óptimo 4. Incompatible**

Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009  
**Tratamientos secundarios – Sedimentos, remoción parcial de metales pesados y bacterias.**

**Canales (swales):**  
 Estos canales vegetales son pequeñas depresiones en el terreno usadas para retener agua lluvia y evitar sistemas de tuberías de drenajes subterráneos. Los canales transportan flujos de agua lluvia a lo largo de laderas suaves, desconectan áreas impermeables aguas abajo del canal y remueven sedimentos gruesos y medios. Son comúnmente combinados con sistemas de bioretención o zanjas para incrementar la remoción de contaminantes.

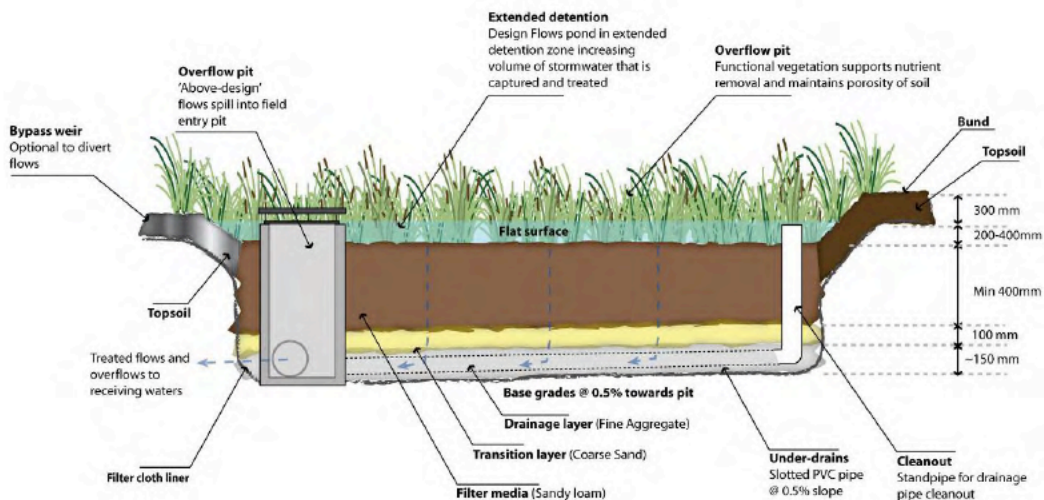


Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

**Sistemas de bioretención:**

Los sistemas de bioretención son perfiles vegetativos de capas de limo arcilloso, arena y grava que capturan agua lluvia de la superficie. Estos tratan el agua lluvia a medida que esta se filtra por las capas de suelo. Los contaminantes son removidos gracias a la filtración y la captación de nutrientes.

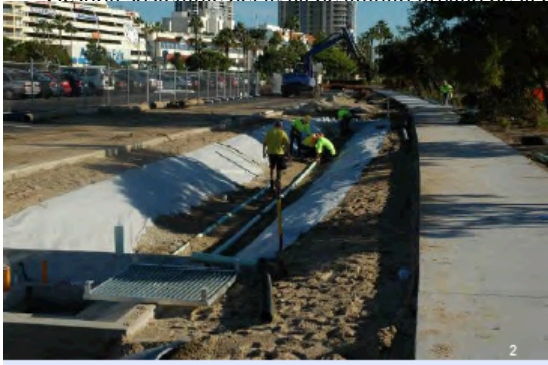
Los sistemas de bioretención son dispositivos de tratamiento de agua lluvia comúnmente utilizados en nuevos desarrollos urbanos en el Sur Este de Queensland. Una construcción exitosa y permitir el tiempo adecuado es crítico para que el sistema establezca su comportamiento a largo plazo.



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009



Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica Santa Elena en el Valle de Aburrá



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

Cuenca de  
Bioretención



Fuente:  
The South  
East  
Queenslan  
d Healthy  
Waterways



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

Partnership, 2009



Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

Humedales y pantanos construídos





Fuente: The South East Queensland Healthy Waterways Partnership, 2009

## ANEXO V

### A. INDICADORES DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE LA MICROCUENCA

Procesos y/o proyectos	Indicador	Tipo
------------------------	-----------	------

Evaluación de escenarios	Población en pobreza	IS
	Población en indigencia	IS
	Tasa de desempleo	IS
	Crecimiento del PIB regional en pesos constantes (para Valle de Aburrá)	IS
1. Mantenimiento y rehabilitación de obras y cauces	Metros (m) de cauce limpiados por mes.	IS
	Número de depósitos de residuos sólidos eliminados por año	IS
2. Implementación de sistemas no convencionales de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales domésticas en zona urbana y centros poblados	Índice de calidad del agua ICA por año	IS
3. Implementación de sistemas de tratamiento en aguas residuales domésticas ARD en zonas rurales	Índice de calidad del agua ICA por año	IS
4. Desarrollo e implementación de tecnologías apropiadas de captación, conducción y potabilización de agua en pequeños acueductos rurales	Cobertura de agua potable en zonas rurales por año	IS
5. Consolidación de la estructura de base natural del PCA (preservación estricta de fragmentos de bosques naturales remanentes)	Área protegida como porcentaje del total de extensión del territorio	IS
6. Recuperación de áreas de manejo especial (con restricciones ambientales, retiros hídricos u otras)	Área recuperada como porcentaje del total de extensión del territorio por año	IS
7. Hábitat rural agrario sostenible, territorios rurales y sus cadenas productivas	Cobertura de recolección y/o manejo adecuado de residuos por año	IS
	Área en bosque nativo como porcentaje del área total del predio	IS
8. Calidad del aire	ICA anual (índice de calidad del aire)	IS
IS: Indicador de situación (ver definición en texto, numeral de Metodología)		

## B. INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

Proyectos	Indicador	Tipo
1. Mantenimiento y rehabilitación de obras y cauces	Metros (m) de cauce limpiados por mes.	I
	Número de obras hidráulicas adecuadas o reconstruidas	G
	% de quejas atendidas por ocupación de cauces con residuos por año	G

	Número de depósitos de residuos sólidos eliminados por año	I
2. Implementación de sistemas no convencionales de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en zona urbana y centros poblados	Número de viviendas conectadas a red de alcantarillado por año	G
	Índice de calidad del agua ICA por año	I
	Porcentaje de solicitudes atendidas por vertimientos por año	G
3. Implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas ARD en zonas rurales	Número de viviendas rurales con sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas por año	G
	Índice de calidad del agua ICA por año	I
	Porcentaje de solicitudes atendidas por vertimientos por año en zona rural	G
4. Desarrollo e implementación de tecnologías apropiadas de captación, conducción y potabilización de agua en pequeños acueductos rurales	Número de viviendas rurales con soluciones de captación y potabilización construidas por año	G
	Cobertura de agua potable en zonas rurales por año	I
	Porcentaje de solicitudes atendidas por concesión aguas	G
5. Consolidación de la estructura de base natural del Parque Central de Antioquia PCA (preservación estricta de fragmentos de bosques naturales remanentes)	Mecanismo de conservación de áreas protegidas creado y aplicado en forma permanente	G
	Incentivo económico y fiscal creado	G
	Talleres realizados por año	G
	Área protegida como porcentaje del total de extensión del territorio	I
6. Recuperación de áreas de manejo especial (con restricciones ambientales, retiros hídricos u otras)	Área recuperada como porcentaje del total de extensión del territorio por año	I
	Talleres realizados por año	G
7. Hábitat rural agrario sostenible, territorios rurales y sus cadenas productivas	Cobertura de recolección y/o manejo adecuado de residuos por año	I
	Número de fincas demostrativas asistidas por año	I
	Días de campo por año	G
	Reglamento elaborado sobre densidades y espacio público	G
	Área en bosque nativo como porcentaje del área total del predio	I
8. Calidad del aire	% de fuentes fijas (empresas) asistidas y controladas por año	G
	Estación automática en operación por año	G
	Inventario actualizado de fuentes fijas de emisión por año	G
	ICA anual (índice de calidad del aire)	I
	Mapas de aire de la Microcuenca por año	I
	Porcentaje de quejas atendidas por recurso aire por año	G
9. Capacitación y fortalecimiento del sistema de prevención y atención de emergencias y desastres	PDC actualizado con capacitación	G
	PDC implementado con capacitación	G
	Viviendas nuevas construidas en zonas de riesgo	I
	Predios reubicados por año	I
10. Cultura en la Microcuenca	Número de líderes capacitados/año	I
	Número de habitantes beneficiados con jornadas/año	I
	Cátedra de cuenca integrada a los PRAES	G
	Manual de convivencia publicado (1 vez)	G
11. Instrumentación hidrológica de la Microcuenca	Red hidrometeorológica instalada (1 vez)	G
	Red hidrometeorológica en operación por año	G
12. Alrededor de la Microcuenca	Número de boletines por año	G
	Número de talleres de integración y socialización al año	G
	Número de organizaciones apoyadas jurídicamente por año	I

Gestión sostenible del agua de ámbito urbano de la cuenca hidrográfica **Santa Elena en el Valle de Aburrá**

	Número de reuniones de mesas ambientales en que participan los actores de la Microcuenca por año	G
13. Pago por servicios ambientales hídricos	Tarifa por uso del agua adoptada (1 sola vez)	G
	Tarifa por tasa retributiva adoptada (1 sola vez)	G
	Tarifa por uso del agua implementada por año	G
	Tarifa por tasa retributiva implementada por año	G
14. Pares o nones	Comité de coordinación creado y en operación por año	G
	Convenio suscrito (una sola vez)	G
	Canal de comunicación creado y en operación por año	G