

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

Autores

Ph. D. Juan Pablo Londoño Linares

Ph. D. Paula Andrea Cifuentes Ruiz

Ph. D. Edgar Ricardo Monroy Vargas

M. Sc. Carlos Javier Obando García

Ph. D. (c) Víctor Manuel Peñaranda Vélez

M. Sc. Efraín Casadiego Quintero

M. Sc. (E) Sharel Alexa Charry Ocampo

M. Sc. (E) Cristina Yanneth Barón Hernández

Ingeniería Civil

**CASOS DE INGENIERÍA:
EL RECURSO HÍDRICO
EN EL CONTEXTO
URBANO Y RURAL**



UNIAGRARIA
Fundación Universitaria Agraria de Colombia

LA U VERDE
DE COLOMBIA

CASOS DE INGENIERÍA: EL RECURSO HÍDRICO EN EL CONTEXTO URBANO Y RURAL

Autores:

Ph. D. Juan Pablo Londoño Linares

Ph. D. Paula Andrea Cifuentes Ruiz

Ph. D. Edgar Ricardo Monroy Vargas

M. Sc. Carlos Javier Obando García

Ph. D. (c) Víctor Manuel Peñaranda Vélez

M. Sc. Efraín Casadiego Quintero

M. Sc. (E) Sharel Alexa Charry Ocampo

M. Sc. (E) Cristina Yanneth Barón Hernández



UNIAGRARIA

Fundación Universitaria Agraria de Colombia

LA U VERDE DE COLOMBIA

CASOS DE INGENIERÍA: EL RECURSO HÍDRICO EN EL CONTEXTO URBANO Y RURAL
Fundación Universitaria Agraria de Colombia
– UNIAGRARIA–

Consejo Superior

Álvaro Zúñiga García
Presidente

Teresa Arévalo Ramírez
Teresa Escobar de Torres
Jorge Orlando Gaitán Arciniégas
Héctor Jairo Guarín Avellaneda
Emiro Martínez Jiménez
Álvaro Ramírez Rubiano
Gloria Helena González Blair
Fernando Barros Algarra

Rector

Luis Fernando Rodríguez Naranjo

Vicerrector de Investigaciones

Álvaro Mauricio Zuñiga Morales

Decana Facultad de Ingeniería

Adriana Luzely Mejía Terán

Directora del Programa de Ingeniería Civil

Marina Inés Rodríguez Castro

Concepto Gráfico, Diseño, Composición e Impresión

Entrelibros e-book solutions
www.entrelibros.co

Diseñador

Carlos Alfonso Sandoval Nieves

Corrección de estilo

Osmar Alberto Peña Martínez

ISBN IMPRESO: 978-958-56645-0-0

ISBN E-BOOK: 978-958-56645-1-7

2018 Fundación Universitaria Agraria de Colombia - UNIAGRARIA
Bogotá D.C – Colombia



Casos de ingeniería: el recurso hídrico en el contexto urbano y rural by Fundación Universitaria Agraria de Colombia -UNIAGRARIA- is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

La publicación Casos de ingeniería: el recurso hídrico en el contexto urbano y rural es producto del área de investigación del Programa de Ingeniería de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia -UNIAGRARIA- impreso bajo el ISBN 978-958-56645-0-0 y digital con el ISBN 978-958-56645-1-7 en idioma Español. Es un producto editorial protegido por el Copyright © y cuenta con una política de acceso abierto para su consulta, sus condiciones de uso y distribución están definidas por el licenciamiento Creative Commons (CC).

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	5
Escenarios de riesgos en el contexto urbano: un problema socioespacial	7
Crecimiento urbano e incidencia de la urbanización en el ciclo hidrológico	23
Disponibilidad de agua: un tema de riesgo de desastres	33
Urbanización, riesgos y necesidades de ordenar el territorio	45
Característica hidrogeológica y geológica del acuífero en el municipio de Puerto Boyacá	69
Un enfoque geométrico para la modelación de la heterogeneidad en estructuras y procesos físicos en acuíferos	81
Incidencias del conflicto armado sobre el acuífero de Puerto Boyacá y perspectiva a partir del posconflicto	95
Cambio climático y aguas subterráneas	109
Referente conceptual de la vulnerabilidad del acuífero de Puerto Boyacá	127
Evolución normativa del derecho ambiental y de aguas en Colombia	141

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha identificado una serie de problemas que merecen atención especial por parte de todos los gobiernos y, en general, de toda la comunidad en el mundo.

Para dar respuesta a dichas problemáticas, surgieron los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en 2015, entre los que se destaca: el recurso hídrico como un elemento básico para el desarrollo de la infraestructura urbana y rural. En la actualidad, los gobiernos adelantan planes estratégicos y de acción, orientados hacia el desarrollo de estos 17 objetivos. A la par, la academia no escapa a ser un protagonista activo en la construcción de un modelo de desarrollo sostenible, razón por la cual, distintos debates se generan en el seno de las instituciones y aportan discusión y soluciones prácticas a problemas reales de la sociedad.

“Casos de ingeniería: el recurso hídrico en el contexto urbano y rural” es el resultado de una serie de investigaciones que surgen de una reflexión consensual entre docentes de diversas universidades, quienes han explorado el recurso hídrico desde distintos ámbitos. Esta publicación, liderada y patrocinada por el programa de Ingeniería Civil de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia, aborda el recurso hídrico dentro del contexto urbano como un problema socioespacial, en sus primeros cuatro capítulos, el cual invita a ordenar el territorio, para así identificar los escenarios de riesgo y, por consiguiente, mitigar los posibles impactos negativos asociados a este recurso.

Posteriormente, se hace una incursión al escenario rural, a través de un caso de estudio: el municipio de Puerto Boyacá, el cual se abastece del recurso hídrico, espacialmente, por intermedio de una fuente de agua subterránea. El estudio de caso incluye una caracterización geológica e hidrogeológica del acuífero y un enfoque geométrico para la modelación de la heterogeneidad en sus estructuras y procesos físicos. Adicionalmente, puede observarse que la zona de estudio

ha sido azotada por el conflicto armado en Colombia, lo cual ha motivado al desarrollo de dos capítulos que están relacionados con las incidencias de este fenómeno social sobre el acuífero y con la evolución normativa del derecho ambiental del manejo de aguas en Colombia.

Por último, el cambio climático es, indiscutiblemente, un eje central de discusión mundial que afecta todos los ámbitos en los cuales el hombre tiene incidencia directa e indirecta sobre la naturaleza. Por ello, dos capítulos son dedicados al impacto que genera este fenómeno sobre las aguas subterráneas y, en especial, a las del acuífero de Puerto Boyacá, dado que se genera un referente conceptual de su vulnerabilidad.

Edgar Ricardo Monroy Vargas



ESCENARIOS DE RIESGOS EN EL CONTEXTO URBANO: **UN PROBLEMA SOCIOESPACIAL**

Juan Pablo Londoño Linares¹

Paula Andrea Cifuentes Ruiz²

¹ Ingeniero civil, M. Sc., Ph. D. Docente de tiempo completo en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria.

² Arquitecto, M. Sc., Ph. D. Profesora asociada de la Universidad de La Salle.

Urbanización en Colombia y segregación urbana

En el caso colombiano, hacia el inicio de la década de 1930, se aceleraron los procesos de urbanización e industrialización y como producto de esta situación se empezaron a escindir las ciudades en dos: una con hábitats dignos y seguros, y otra con población segregada que vivía en riesgo de desastres.

Así como la vulnerabilidad es producto del orden social, las amenazas son determinadas por la socialización que se hace de la naturaleza. En este sentido, se habla de la construcción social del riesgo, entendida como el proceso histórico en el que se configuran tanto amenazas como vulnerabilidades, las cuales son producto de las características de la sociedad y de su relación con el entorno natural. La recomposición de las relaciones internacionales, en los planos económico y político, y que posterior a la crisis financiera de 1929, marcó el comienzo de un proceso de crecimiento urbano en América Latina, el cual recorrió todo el siglo XX, y en el caso de algunas ciudades, este constituyó el contexto causal de los desastres llamados “naturales”, dadas las condiciones sociales y ambientales que se fueron configurando con él.

Como ejemplo de este proceso, entre 1951 y 1973, la población de Medellín creció más de tres veces y esta pasó de 358.819 a 1.150.762 habitantes, situación que se reflejó en el aumento de la urbanización y en la expansión de la ciudad hacia el norte y hacia el sur, en las dos vertientes del valle. Este crecimiento de la “mancha urbana” coincidió con la ocurrencia de desastres asociados a inundaciones en diversos sectores de todos los costados de la ciudad: barrios del oriente, nororiente, suroriente, suroccidente, occidente y otras zonas cercanas a las cuencas de las quebradas Iguaná, Picacha, Ana Díaz y Los Huesos, en la parte occidental de la ciudad; así mismo, se presentaron desastres asociados a deslizamientos en el oriente, nororiente y noroccidente. En este periodo, la frecuencia y el área de ocurrencia de los desastres asociados a deslizamientos e inundaciones aumentaron a tal punto que la acción institucional que consistía,

básicamente, en atender las situaciones de emergencia con el departamento de bomberos y algunos cuerpos de seguridad fue ineficaz. Esta situación ya era notoria a finales de la década de 1960, cuando en la prensa se afirmaba que el personal de bomberos era “insuficiente a todas luces” (Serna, 2011).

El crecimiento de Medellín continuó entre 1970 y 1990, hasta la saturación del espacio urbano. Al construir en laderas cada vez más altas y periféricas, y en zonas cada vez más próximas a las quebradas, especialmente en los extremos oriental, occidental, nororiental y noroccidental de la ciudad, los desastres asociados a deslizamientos e inundaciones se hicieron más recurrentes. El desequilibrio en la ocupación del suelo evidenciaba la segregación espacial de la estructura urbana de Medellín: en la década de 1980, en el centro de la ciudad había 67 habitantes por hectárea, mientras que, en un barrio de población pobre, por cada hectárea vivían 419 personas. Por esto, cerca de 1990 se hablaba de la existencia de dos ciudades: la de las clases altas y medias con un hábitat seguro y digno, y la de las clases populares, donde sus habitantes vivieron hacinados en zonas de alto riesgo (Serna, 2011).

Si bien el crecimiento de la población urbana no representa en sí mismo un problema, en América Latina los efectos negativos de este crecimiento están muy relacionados con las dinámicas generadoras de pobreza y de violencia; elementos que propician la aparición de riesgos. Según datos de la Comisión de las Naciones Unidas para Asentamientos Humanos, cerca del 40% de los residentes urbanos de América Latina y El Caribe viven hoy en asentamientos marginales, espontáneos o ilegales. Las ciudades reciben migraciones de población, sin que existan las condiciones apropiadas para la satisfacción de necesidades básicas, y menos aún de las condiciones adecuadas para mantener un entorno con calidad ambiental. La mayoría de los asentamientos marginales están localizados en áreas en las que se convive con problemas identificables: contaminación del suelo, del aire, del agua, procesos de erosión y hacinamiento. En el decenio del 90, las estadísticas regionales muestran que el 65% de las familias pobres vive en zonas urbanas donde no tienen cubiertas las necesidades básicas y sobreviven en condiciones de alta marginalidad —hacinamiento, viviendas inadecuadas, acceso insuficiente al agua potable y a la infraestructura sanitaria— (Pnuma, 2002).

Como consecuencia de lo anterior, en muchos casos es difícil determinar la relación causal de los riesgos de origen natural-antrópico. Así, el riesgo de deslizamiento, por ejemplo, aparece generalmente como consecuencia del

asentamiento de grupos humanos pobres en laderas de pendientes fuertes, inapropiadas para la urbanización, agravándose con la deforestación y el manejo inadecuado de las aguas de lluvia y servidas, lo que también trae consigo el asentamiento marginal; sin embargo, la causa de tal deslizamiento no es necesariamente producto de que la población se asiente en lugares peligrosos, sino del hecho de que escogió ese sitio debido a que no tenía otras opciones por la limitación de acceso a tierra urbana habitable (Wilches-Cháux, 1993).

Para los años setenta, ciudades como Lima, Guatemala, Ciudad de México, Río de Janeiro, Delhi, El Cairo, Manila, etc. se habían vuelto muy vulnerables, con poca capacidad para absorber el impacto de las amenazas o para recuperarse de estas. Se puede afirmar razonablemente que muchos de los desastres urbanos de los años setenta y ochenta (Managua 1972, Guatemala 1976, México 1985, San Salvador 1986, etc.) fueron causados por una concentración de factores de vulnerabilidad a consecuencia de dichos cambios (Maskrey, 1998).

De acuerdo con José Luis Romero, durante el proceso de crecimiento y masificación de las ciudades latinoamericanas en el siglo XX, grandes grupos de población sufrieron una doble marginalidad que involucraba lo espacial y lo social. Excluida de la distribución de la riqueza, y a veces de la reproducción de la misma, la población pobre tuvo que irse a vivir en lugares periféricos, generalmente poco idóneos para el establecimiento de viviendas. En el caso de Medellín, la fuente da cuenta de sucesos desastrosos producidos por condiciones de vulnerabilidad, asociadas a esa doble marginalidad: las personas afectadas estaban asentadas en lugares no aptos para vivir y en unas condiciones de pobreza que acentuaban el carácter inadecuado del hábitat respecto a la ocurrencia de fenómenos naturales (Serna, 2011).

Ordenación urbana en Colombia

Los primeros antecedentes sobre la ordenación de la estructura urbana en Colombia datan de tiempos de la conquista, con las *Ordenanzas de Población* de Felipe II en el año 1573, las cuales constituyeron una primera política urbanística en la época, a manera de código político urbano. Las ordenanzas ya se planteaban el dilema de elección del lugar en el cual establecer a la población, a lo largo de 10 capítulos. Así, ya se esbozaba la forma de ocupación en retícula ortogonal conocida como damero y bajo esta tipología se fundaron las nuevas poblaciones, en algunos casos con dificultades en su implantación debido a la topografía.

En el caso colombiano, esta estructura fue la regla en la mayoría de ciudades; sin embargo, se empezaron a notar debilidades en el modelo ortogonal debido al relieve, razón por la cual el urbanista Karl Brunner, en la primera mitad del siglo XX, plantearía la necesidad de modificar el modelo (Hofer, 2003). A su vez, se empezaban a evidenciar otros obstáculos adicionales a los netamente financieros o políticos para los proyectos de renovación urbana de las ciudades: la subdivisión del suelo en uso público y privado y el sistema reticular.

A partir de finales del siglo XIX, Colombia asume el papel de productor agrícola, con la consecuente construcción de grandes obras de ingeniería (puertos o líneas férreas) como opciones de transporte que determinarían las transformaciones urbanas que entrarían en conflicto con el modelo ortogonal.

Ejemplos de obstáculos para la implantación del modelo urbano generados por la topografía se evidencian en los intentos por intervenir cauces mediante su canalización para poder hacer vías rectas, al esquivar dificultades topográficas en ciudades como Medellín, donde el terreno plano ya se había ocupado. De esta forma, las laderas empezaron a ocuparse, en la medida de lo posible, en la curvatura natural del terreno. En la ciudad de Bogotá, la introducción del tranvía determinó el crecimiento de la ciudad en el sentido norte-sur, lo que generó una ciudad lineal en las primeras décadas del siglo XX. Para el caso de Manizales, las nuevas estaciones de ferrocarril y de cable aéreo constituyeron polos de urbanización y generaron nuevas formas urbanas, y con el agotamiento del terreno plano, pasaron a la utilización de los denominados “rellenos hidráulicos”, algo que fue muy común para adecuar lotes en laderas.

En cuanto a un antecedente de planificación en Colombia, en el sentido de instrumento, puede citarse la figura de “Plano Regulador”, establecida por la Ley 88 de 1947. Esta figura fue adoptada y aplicada por países europeos y norteamericanos a partir de 1920, según los planteamientos de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna CIAM (Castillo y Salazar, 2001). Es entonces cuando las tres ciudades más grandes del país deciden elaborar simultáneamente sus planes de ordenación y futuro crecimiento, en el caso de Bogotá, orientado por Le Corbusier.

El objetivo de los planes fue delimitar el perímetro urbano y las áreas de actividad mediante la definición de una política de desarrollo urbano con horizonte de 15 años, lo cual requería un reglamento de zonificación y control sobre los usos del suelo, un plan vial y la adecuada provisión de servicios públicos.

El lema utilizado para identificar este nuevo modelo de desarrollo en Colombia fue el de “ciudades dentro de la ciudad”, lo que tenía como características la descentralización del empleo, el policentrismo y la disminución de los recorridos.

A partir de la Ley 9 de 1989, por primera vez en Colombia se dispone la obligatoriedad de incluir, en los planes de desarrollo, acciones concretas para la intervención del territorio y la definición de responsabilidades y competencias con respecto a la visión del territorio, y a la visión de futuro de los municipios. Adicionalmente, el Decreto Ley 919 de 1989, insta a través de su artículo 6 a las entidades territoriales a incorporar el componente de prevención de desastres en los procesos de planificación territorial, sectorial y de desarrollo.

De acuerdo con los lineamientos de la Ley 388 de 1997 de Ordenamiento Territorial, los municipios están en la obligación de formular los planes de ordenamiento territorial que contengan, entre otros aspectos, las determinantes y los componentes relacionados con el tema de riesgos: “políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales”.

A continuación, en la tabla 1 se describen las leyes y los decretos que en Colombia obligan a la incorporación de la prevención y reducción de riesgos en la planificación territorial.

Tabla 1. Legislación en el tema de riesgos y ordenamiento territorial en Colombia

Ley / Decreto	Obligaciones relacionadas con prevención y reducción de riesgos y ordenamiento territorial
Constitución Política de 1991	<p>La constitución Política reglamentó entre otras disposiciones:</p> <p>Artículo 2. Son fines esenciales del Estado: servir a la comunidad, promover la prosperidad general y garantizar la efectividad de los principios, derechos y deberes consagrados en la Constitución; facilitar la participación de todos en las decisiones que los afectan y en la vida económica, política, administrativa y cultural de la Nación; defender la independencia nacional, mantener la integridad territorial y asegurar la convivencia pacífica y la vigencia de un orden justo.</p> <p>Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su vida, honra, bienes, creencias, y demás derechos y libertades, y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares.</p>

En cuanto al manejo de los recursos naturales se reglamentaron disposiciones sobre la vivienda digna y el manejo de los recursos naturales para garantizar el desarrollo sostenible (prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental). Como primer paso para la Planeación, definió la obligatoriedad para las Entidades Territoriales de elaborar su Plan de Desarrollo. Se dispuso además en un esquema de descentralización, que el Estado delegaría en las entidades locales la responsabilidad de conocer, y atender en forma integral los recursos naturales, y tomar acciones sobre su manejo.

Normatividad relacionada con el riesgo

Ley 46 de 1988

Por medio de la cual se reglamenta la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – SNPAD.

Decreto Ley 919 de 1989

Por el cual se establece la obligatoriedad de trabajar en prevención de riesgos naturales y tecnológicos, especialmente en disposiciones relacionadas con el ordenamiento urbano, las zonas de alto riesgo y los asentamientos humanos, y se crea el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, determinando responsabilidades, estructura organizativa, mecanismos de coordinación e instrumentos de planificación y financiación del sistema a escala nacional, regional y local.

Se incluye, además, el componente de prevención de desastres en los planes de desarrollo de las entidades territoriales y se define el papel de las corporaciones autónomas regionales en asesorar y colaborar con las entidades territoriales para los efectos de que trata el artículo 6, mediante la elaboración de inventarios y análisis de zonas de alto riesgo y el diseño de mecanismos de solución.

Decreto 93 de 1998

Por el cual se adopta el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres (PNPAD), el cual define objetivos, principios, estrategias y programas de la política nacional. Los tres objetivos básicos de la política son:

- Reducción de riesgos y prevención de desastres.
- Respuesta efectiva en caso de desastres.
- Recuperación rápida de zonas afectadas.

Estos objetivos se alcanzan a través de cuatro estrategias:

- El conocimiento sobre los riesgos (naturales y antrópicos).
- La incorporación de la prevención de desastres y reducción de riesgos en la planificación.
- El fortalecimiento del desarrollo institucional.
- La socialización de la prevención y la mitigación de desastres.

Continuación Tabla 1. Legislación en el tema de riesgos y ordenamiento territorial en Colombia


CONPES 3146	<p>Por el cual se define la “Estrategia para consolidar la ejecución del de 2001 Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – PNPAD”.</p> <p>Esta estrategia define acciones específicas y busca comprometer a las entidades en el cumplimiento del PNPAD.</p>
CONPES 3318	<p>Mediante el cual se autoriza a la Nación para contratar un crédito hasta por US \$263 millones, para financiar el Programa de Reducción de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado frente a los Desastres Naturales.</p>

Normativa relacionada con diseño y la construcción sismorresistente


Ley 400 de 1997	<p>Por la cual se reglamentaron las construcciones sismorresistentes. En 1984, surgió el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, reemplazado en 1998 por la Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes NSR-98 (aún vigente). En ella se establecen entre otros aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las responsabilidades y sanciones en las que incurren los profesionales diseñadores, los constructores, los funcionarios oficiales y las alcaldías, al incumplir la Ley. • Los incentivos para quienes actualicen las construcciones existentes a las nuevas normas. • La obligación de realizar un análisis de vulnerabilidad para las edificaciones indispensables existentes en un lapso de tres años, y a repararlas en caso que sean deficientes, con un plazo máximo de seis años. <p>Fue reglamentado posteriormente por los Decretos 1052/98, 33/98, 34/99 y 2809/00.</p>
------------------------	---

Normativa relacionada con desarrollo y ordenamiento territorial


Ley 09 de 1989	<p>Por la cual se definió la responsabilidad de las autoridades municipales en cuanto a la seguridad de los habitantes de las zonas urbanas ante los peligros naturales, estableciendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La obligatoriedad a los municipios, con la asistencia de las oficinas de planeación, de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento). • La obligatoriedad de adelantar programas de reubicación de los habitantes, o proceder a desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas. <p>En cuanto al territorio, la ley establece la función social de la propiedad permitiendo la intervención del Estado directamente sobre la especulación del mercado de las tierras, creando mecanismos que luego fueron mejorados por la ley 388/97. Estos mecanismos deben ser aplicados por los municipios para la gestión del suelo, en forma tal que sea posible la intervención de las zonas urbanizables y no urbanizables.</p>
-----------------------	--


Ley 02 de 1991

Por la cual se modifica la Ley de Reforma Urbana, estableciendo que los municipios deben no solo levantar sino tener actualizados los inventarios de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos y que los alcaldes contarán con la colaboración de las entidades pertenecientes al Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, para desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas.


Ley 152 de 1994

Por medio de la cual se establecen los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución, seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo, tanto de la Nación y de las entidades territoriales como de los organismos públicos de todo orden. Se incluye en materia de planificación la ratificación de la sustentabilidad ambiental como principio de actuación de las autoridades de planeación, enunciado en la Ley 99/93, y la necesidad de los planes de ordenamiento para los municipios.


Ley 388 de 1997

Ley de Desarrollo Territorial, cuyos objetivos en cuanto al riesgo son:

- “Establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, entre otros, la prevención de localización de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo”.
- “Garantizar que la utilización del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres...”
- “Función pública del urbanismo: mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales”.
- “Acción urbanística: determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para localización de asentamientos humanos por amenazas naturales o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda”.
- “Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención de desastres...”
- “En la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial de los municipios, se deberán tener en cuenta, entre otros determinantes, los relacionados con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y la localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales”.

Art. 10. Determinantes de los POT. Numeral 1, literal C. Se relaciona con la conservación y protección del medio ambiente y la prevención de amenazas y riesgos naturales.

Continuación Tabla 1. Legislación en el tema de riesgos y ordenamiento territorial en Colombia

Ley 812 de 2003	<p>Por la cual se estableció el Plan Nacional de Desarrollo - PND 2002-2006: "Hacia un Estado Comunitario", que en su capítulo III "Construir Equidad Social", programa de "Prevención y Mitigación de Desastres Naturales", determinó:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La profundización del conocimiento sobre riesgos naturales y su divulgación. • La inclusión de la prevención y mitigación de riesgos en la planificación y la inversión territorial y sectorial. <p>La reducción de la vulnerabilidad financiera del Gobierno ante desastres.</p>
Decreto 879 de 1998	<p>Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los planes de ordenamiento territorial. Se tendrán en cuenta las prioridades del Plan de Desarrollo del municipio o del distrito y los determinantes establecidos en normas de superior jerarquía entre las que se encuentran las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.</p>
Decreto 2015 de 2001	<p>Se reglamenta la expedición de licencias de urbanismo y construcción con posterioridad a la declaración de situación de desastre o calamidad pública.</p>
Decreto 4002 de 2004	<p>Por el cual se establece que al tener en cuenta razones de excepcional interés público, de fuerza mayor o de caso fortuito, el alcalde municipal o distrital podrá iniciar el proceso de revisión del plan, el cual será: la declaratoria de desastre o calamidad pública y los resultados de estudios técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgo no mitigable y otras condiciones de restricción diferentes a las inicialmente adoptadas en el POT.</p>

Normativa relacionada con medio ambiente

Ley 99 de 1993	<p>Mediante el cual se organiza el Sistema Nacional Ambiental y se crea el Ministerio del Medio Ambiente. En ella se establece que la prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento. Según la ley, corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ejercer la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción. • Participar en los procesos de planificación y ordenamiento territorial para que el factor ambiental sea tenido en cuenta en las decisiones que se adopten. • Realizar actividades de análisis, seguimiento, prevención y control de desastres en coordinación con las demás autoridades ambientales competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres. • Prestar asistencia técnica a entidades públicas y privadas y a los particulares, acerca del adecuado manejo de los recursos naturales renovables y la preservación del medio ambiente.
----------------	---

Fuente: elaboración propia a través de la normativa citada.

Adicionalmente, es destacable que Colombia se encuentra en una transición conceptual y operativa desde un enfoque basado en el desastre, a otro basado en el riesgo. El enfoque conceptual basado en el desastre tiene su expresión en el Decreto 919 de 1989, bajo la concepción de la prevención y atención de desastres como hechos cumplidos, donde la causa principal de los desastres recae en la dinámica natural. Mientras que el basado en el riesgo está presente en la Ley 1523 de 2012, por medio de la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, el cual está dirigido hacia las prácticas y dinámicas sociales frente a los contextos ambientales (Cardona *et al*, 2014).

La transición de la noción de desastre a la de riesgos pasa por la construcción concertada de un nuevo enfoque, el cual deberá tener elementos nuevos y antiguos e incorporar elementos conceptuales claros, que en muchos casos están en desarrollo. Esto implica dejar atrás enfoques verticales y centralistas para orientarse en enfoques participativos que estén basados en las posibilidades endógenas locales (Federación Colombiana de Municipios, 2013).

Uno de los decretos más reciente es el 1807 de septiembre de 2014, que reglamenta el artículo 189 de la Ley 19 de 2012 y que es específico en cuanto a la necesidad de incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial. El texto aporta lo siguiente: “con el fin de promover medidas para la sostenibilidad ambiental del territorio, solo procederá la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del plan de ordenamiento territorial o la expedición del nuevo plan de ordenamiento territorial cuando se garantice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y la delimitación y zonificación de las áreas con condiciones de riesgo, además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación, la cual deberá incluirse en la cartografía correspondiente”. En este artículo se destaca la falta actual de reglamentación en cuanto a metodologías de evaluación de amenazas y riesgo, y se resalta la necesidad de buscar estándares, dado que hasta el momento cada municipio ha adoptado la metodología que ha considerado oportuna o aquella disponible. Adicionalmente, se dan lineamientos generales en este sentido y se recomiendan escalas de análisis e insumos mínimos necesarios.

Incorporación del riesgo en el ordenamiento territorial

Además del ordenamiento territorial, en el caso de ordenamiento ambiental y manejo de cuencas (Pomcas), también se han venido considerando los requisitos de incorporación de la gestión de riesgos. Igualmente, se destacan las mismas dificultades como la falta de estándares en cuanto a resolución, escalas y modelos a utilizar, para identificar las zonas en amenaza y riesgo (Cardona *et al*, 2014).

En el sentido de hacer un uso racional del suelo, organismos internacionales como las agencias de la ONU y otras entidades multilaterales de desarrollo, como el Banco Mundial o el Banco Interamericano de Desarrollo, también han indicado en varios documentos relacionados con planificación y gestión del riesgo que evitar la ocupación de terrenos no apropiados para la urbanización por presencia de amenazas naturales, más que una restricción, constituye una oportunidad para el desarrollo local, ya que evita costosas inversiones que deben realizarse cuando se presentan los desastres.

Si se aplican estrategias de gestión del riesgo de desastres adecuadamente, se pueden tomar decisiones acertadas, conforme con las posibilidades reales del medio, y evitar posteriores emergencias y desastres. Se trata de poder tomar las decisiones sensatas de adaptación de acuerdo con el contexto social y natural (Cardona *et al*, 2014).

Las bondades del trabajo integrado de la gestión del riesgo y el ordenamiento territorial son innegables, y las implicaciones que esta conjunción tiene en la sostenibilidad, la calidad de vida y la seguridad de la población son evidentes; sin embargo, puede verse equivocadamente la gestión del riesgo como una carga administrativa adicional, un simple requisito sin sentido, como un problema o una restricción para desarrollo. Es importante reiterar que se trata justamente de todo lo contrario, pues poder invertir los recursos al saber que el potencial de beneficio es óptimo, conduce a tener la seguridad de que se están tomando las mejores determinaciones.

Las autoridades municipales se deben siempre preguntar: ¿cuántos recursos se invierten anualmente en la atención recurrente de emergencias y desastres en el territorio?, ¿a cuántas de estas familias se les repite su situación año tras año?, ¿cuántos programas del plan de gobierno se ven afectados o se han visto

afectados porque deben desviarse sus recursos para atender un deslizamiento, una inundación o una avalancha, entre otros? Además, ¿cuántas vidas se han perdido, cuántas familias se han quedado sin vivienda? Aunque evaluar lo que ha dejado de ocurrir resulte difícil, hay que intentar cuantificar mejor, ¿cuántas vidas se han salvado?, ¿cuántas ayudas no se han tenido que entregar?, o en términos de gestión y prevención ¿cuántas viviendas se han reubicado?, ¿en cuántos proyectos se ha incorporado la gestión del riesgo de manera apropiada? Seguramente, las respuestas desde todo punto de vista serán positivas. Es importante para el tomador de decisiones y todo su grupo técnico reconocer que ambos procesos, tanto la gestión del riesgo como el ordenamiento territorial, son procesos de adaptación que tienen relación directa el uno con el otro, pues están basados en el conocimiento del territorio, sus posibilidades y sus restricciones; dando orientación a cómo debe ser el desarrollo en forma adecuada y con la posibilidad de mantenerse en el futuro. Lograr tener encadenados ambos procesos sirve para que el municipio opte por un mejor crecimiento, disminuyan sus emergencias o desastres y realmente pueda encaminarse hacia la inversión social y la competitividad (Cardona *et al*, 2014).

Impedir la ocupación de terrenos no apropiados para la urbanización debido a la existencia de amenazas naturales o socionaturales no es una simple restricción, sino una oportunidad para el desarrollo local, ya que evita costosas inversiones que de una u otra manera el municipio debe asumir al momento de presentarse un desastre. Identificar y zonificar, de forma anticipada, las zonas donde se puede generar riesgo es fundamental para determinar correctamente las áreas de expansión del municipio, a fin de evitar desastres futuros. Así mismo, en relación con el riesgo ya existente, la incorporación del riesgo en la planificación territorial es necesaria para determinar los tratamientos urbanísticos que se deberán implementar, con el fin de reducir el potencial de pérdidas de vidas y daños económicos en las zonas determinadas como de alto riesgo (Mavdt, 2005); sin embargo, el poder determinar las zonas de amenaza y riesgo, establecer los usos de suelo adecuado para el crecimiento e identificar los proyectos prioritarios del municipio, no son el único resultado de la gestión del riesgo en el territorio, también hay otros aspectos que hacen que sea atractivo para una administración aplicar todo el conjunto de estrategias que existen y que conducen a un mejor desarrollo. Al ejecutar, realizar y trabajar sobre las acciones encaminadas al control, disminución y preparación frente al riesgo, se

están reduciendo a su vez los impactos potenciales devastadores de eventos ambientales peligrosos y las emergencias que de ellos se derivan en la localidad, lo cual a su vez está expresado en:

- Minimizar la pérdida de vidas como premisa fundamental del Estado, igualmente se disminuyen las pérdidas económicas, sociales y culturales en la sociedad.
- Particularmente en la administración, se reducen las inversiones en atención (humanitaria y materiales), ya que no se tendrán las mismas afectaciones recurrentes e históricas.
- La destinación de recursos podrá ser realmente priorizada en los programas sociales, culturales y comunitarios con una visión de oportunidad y necesidad de la población, y no se verán disminuidos u orientados a atender las consecuencias de eventos atípicos que desequilibren el erario municipal.
- Además, se llevará al municipio a un mejor escenario de competitividad.

Al tener en cuenta que el ordenamiento territorial se hace en función de los municipios, las amenazas a considerar deben tener implicaciones a esta escala. En el contexto andino, son muy comunes las áreas urbanas desarrolladas en montañas, con lo cual cobran especial relevancia los procesos que tienen relación con la topografía, como es el caso de la remoción en masa y las inundaciones.

La evaluación de la amenaza por inundación, por su parte, presenta una particularidad relacionada con la escala de trabajo: tiene un carácter más regional y debe analizarse en el contexto de cada cuenca y cada río particular y no obedece a una escala específica; siendo competencia posiblemente de procesos de ordenamiento ambiental a escalas más amplias, del orden regional, y, en el caso de cuencas mayores, incluso a escala nacional.

De otro lado, incorporar la gestión del riesgo en todos los procesos de planeación (ordenamiento y plan de desarrollo) contribuye a encaminar todos los programas planteados hacia el mismo objetivo de desarrollo sostenible, entendido este como el satisfacer las necesidades actuales sin disminuir las posibilidades de que las generaciones futuras satisfagan las suyas; dicho de otro modo, se deben utilizar los recursos de manera racional y equitativa.

Este tipo de planificación tiene una visión de balance entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental, bajo parámetros de inversión estratégica que se traduzcan en oportunidades para que el municipio avance y progrese. La inclusión de la gestión del riesgo, no solo en el ordenamiento territorial sino también en toda la planificación local, se convierte en una estrategia y un instrumento idóneo que permite actuar sobre el territorio para prevenir desastres y reducir riesgos, y que conduce al municipio a un desarrollo continuo, orientado a mejorar las condiciones de vida de la población.

Referencias

- Cardona, O. D., et al. (2014). Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal. *Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital Bogotá - Cundinamarca*. Bogotá: PNUD.
- Castillo, J.C., y Salazar, J. (2001). La planeación urbanística en Colombia. *Trayectorias Urbanas en la Modernización del Estado en Colombia*. Medellín: TM Editores.
- Federación Colombiana de Municipios. (Junio, 2013). *La Federación Colombiana de Municipios. Su papel en la Cooperación al Desarrollo*. Presentado en el V Encuentro de Cooperación Descentralizada, Cali, Colombia.
- Hofer, A. (2003). *Karl Brunner y el urbanismo europeo en América Latina*. Bogotá: El Áncora Editores.
- Maskrey, A. (1998). *Navegando entre brumas. La aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina*. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina LA RED. Recuperado de: http://www.desenredando.org/public/libros/1998/neb/neb_todo_nov-09-2002.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Serie Ambiente y Desarrollo Territorial, guía metodológica para incorporar la prevención y la reducción de riesgos en los procesos de ordenamiento territorial*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo. Dirección de Desarrollo Territorial.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2002). *La sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades*. Comisión Económica para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile: PNUMA Oficina Regional para América Latina y El Caribe.

Serna, S. A. (2011). La naturaleza social de los desastres asociados a inundaciones y deslizamientos en Medellín (1930-1990). *Revista Historia Crítica*. 1 (67), 198-223. DOI: 10.7440/histcrit43.2011.11

Wilches-Cháux, G. (1993). La vulnerabilidad global. En: *Los desastres no son naturales*. Bogotá: Tercer Mundo Editores, pp. 9-50.



CRECIMIENTO URBANO E INCIDENCIA DE LA URBANIZACIÓN EN EL CICLO HIDROLÓGICO

Paula Andrea Cifuentes Ruiz¹

Juan Pablo Londoño Linares²

¹ Arquitecto, M. Sc., Ph. D. Profesora asociada de la Universidad de La Salle.

² Ingeniero civil, M. Sc., Ph. D. Docente de tiempo completo en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria.

Las primeras ciudades nacieron en una localización geográfica con condiciones ambientales adecuadas, sobre llanuras aluviales, próximas a ríos o lagos, con climas secos y de fácil acceso. Los cultivos podían controlarse por medio de abundante agua o con el lodo extraído de los fondos de lagos y pantanos. Los lugares de asentamiento eran zonas donde había agua abundante para el regadío por gravedad y donde al mismo tiempo se disfrutaba de un clima seco y soleado, de inviernos suaves, la renovación del suelo era posible y el transporte relativamente fácil (Davis, 1976). A medida que la actividad agraria se iba perfeccionando, esta permitía la acumulación de excedentes y, con ello, un crecimiento poblacional acelerado en asentamientos ubicados generalmente junto a las fuentes de agua.

De acuerdo con Ángel-Maya (2013): “La invención de la agricultura y la domesticación de los animales es la transformación más drástica de las leyes generales del ecosistema realizada por el hombre”. Por su parte, el impacto de la tecnología moderna ha sido analizado desde el Club de Roma a la Cumbre de Río. Efectos como el cambio climático, el debilitamiento de la capa de ozono, la lluvia ácida, la pérdida progresiva e irreparable de biodiversidad, la erosión y desertización de suelos, la contaminación de las aguas y el aceleramiento de la escorrentía (Ángel-Maya, 2013), son problemas que han tenido repercusiones sobre los asentamientos humanos a escala planetaria, en forma de desastres como deslizamientos, incendios e inundaciones.

El crecimiento urbano ha aumentado de manera acelerada; en 1950, una tercera parte de la población mundial vivía en ciudades. En 50 años esta cifra aumentó a la mitad y, actualmente, se dice que un 54% de la población mundial reside en áreas urbanas y se prevé que este porcentaje siga aumentando, ya que en 2050 se espera que el 66% de la población urbana mundial viva en zonas urbanas (ONU, 2014; Banco Mundial, 2017). Lo anterior indica que la cantidad de habitantes en las ciudades aumentará 1,5 veces hasta llegar a 6.000 millones de personas en 2045, es decir, una cifra adicional de 2.000 millones de residentes urbanos (Banco Mundial, 2017).

John Wilmoth, director de la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (DESA), señaló en julio del 2014 que:

El crecimiento de la población urbana seguirá alentado por dos factores: la persistente preferencia de la gente de mudarse de áreas rurales a otras urbanas y el crecimiento de la población durante los próximos 35 años. Estos dos factores combinados añadirán 2.500 millones de personas a la población urbana para 2050. [...]. (ONU, 2014).

Desde un informe de perspectivas de la urbanización, la ONU plantea que Asia alberga en estos momentos al 53% de la población urbana mundial, seguida de Europa con el 14% y América Latina y el Caribe con el 13%. A pesar de estos porcentajes, uno de los grandes retos de la planificación del siglo XXI en las zonas urbanas consiste en tener presentes los problemas demográficos resultantes de la rápida urbanización, el rápido crecimiento de los centros de población pequeños y medianos y, así mismo, el aumento constante de la población joven en los países en desarrollo y los problemas causados por la contracción de las ciudades y el envejecimiento de la población en los países desarrollados (ONU, 2014).

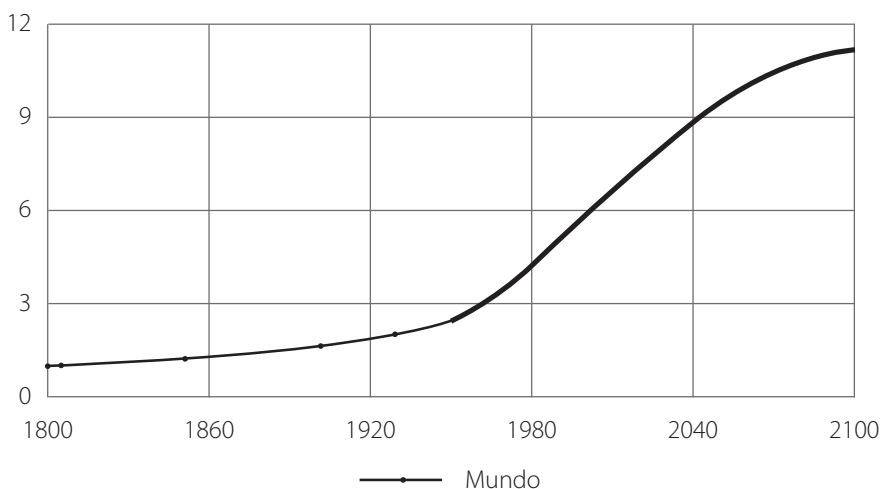
Las ciudades ofrecen oportunidades inigualables para crear riqueza y prosperidad, se han convertido en la fuerza impulsora del comercio mundial y en las locomotoras del crecimiento económico (ONU-HÁBITAT, 2009), ya que más del 80% del producto interno bruto (PIB) mundial se genera en las ciudades (Banco Mundial, 2017); sin embargo, las ciudades también traen cambios irreversibles en las pautas de consumo y producción, debido a que la actividad humana se concentra en estas y cambiamos la forma de utilizar la tierra, el agua, la energía y otros recursos naturales. Como más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades, las zonas urbanas consumen la mayor parte de la energía mundial y generan el grueso de nuestros desechos, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU-HÁBITAT, 2009).

El agua es indispensable para el desarrollo de la humanidad

La rapidez y la magnitud del proceso de urbanización plantea enormes desafíos, entre ellos, satisfacer las necesidades de la población mundial actual que se encuentra en 7.600 millones de personas (figura 1), según un informe de las Naciones Unidas (ONU, 2017a), el cual en sus proyecciones dice que la

población mundial alcanzará los 8.600 millones de personas para el año 2030 y agrega que llegará a 9.800 millones de personas en el año 2050 y a 11.200 millones de personas en el año 2100.

Figura 1. Población mundial en miles de millones (1800-2100)



Fuente: Population.city, 2017.

El estudio indica que esta tendencia al alza continuará a un ritmo de aproximadamente 83 millones de personas más cada año, pese a una disminución constante de los niveles de fertilidad.

El agua es indispensable para la subsistencia de los organismos vivos y se encuentra de manera permanente a partir de su ciclo, el cual inicia en los gigantescos depósitos marinos, donde el calor la evapora y la desaliniza, luego el agua es distribuida por todo el planeta por los sistemas de viento y regresa al mar a través de la escorrentía de los ríos después de haber sido utilizada por los organismos vivos en zonas rurales y urbanas (Odum, 1972).

De acuerdo con Ángel-Maya (2013), el ciclo que mantiene la *distribución estable del agua a lo largo de todo el sistema* ha entrado en crisis, debido a que:

La actividad humana ha aumentado la escorrentía a partir de la deforestación, la destrucción de los páramos y, en general, el deterioro de las cuencas acelera la escorrentía y el retorno del agua al mar en la última etapa de su ciclo; [...] de tal manera que estamos disminuyendo la cantidad de agua disponible para el uso humano y de las demás especies. (Ángel-Maya, 2013).

Así mismo, cabe mencionar el “envenenamiento de las fuentes de agua, al deterioro de los suelos y a los procesos de erosión que sepultan la tierra fértil en los fondos marinos” (Ángel-Maya, 2013).

El crecimiento urbano incontrolado y el desarrollo imprevisto de la urbanización periférica son algunas de sus consecuencias más evidentes, junto con el aumento de la vulnerabilidad de centenares de millones de residentes urbanos frente al aumento del nivel del mar, la inundación de las costas y otros peligros relacionados con el clima.

El efecto combinado de la rápida urbanización, la mundialización y el cambio climático es lo que está determinando cada vez más el programa de desarrollo de nuestro mundo de hoy y sirven de nexo entre nuestros mercados financieros mundiales y los centros de servicios de nuestra sociedad de la información. Por otro lado, las ciudades también traen cambios irreversibles en las pautas de consumo y producción, debido a que la actividad humana se concentra en las ciudades, cambiamos la forma de utilizar la tierra, el agua, la energía y otros recursos naturales, y como más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades, las zonas urbanas ya consumen la mayor parte de la energía mundial y generan el grueso de nuestros desechos, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero. Las ciudades también albergan muchas tendencias muy preocupantes con respecto a carencias y exclusión sociales (ONU-HÁBITAT, 2009, 3).

Hábitat III y sus compromisos en la planificación y gestión sostenible del agua

Los principales problemas urbanos del siglo XXI son el rápido crecimiento de muchas ciudades y la decadencia de otras, la expansión de asentamientos sin planificación y lo que han hecho las ciudades para causar y mitigar el cambio climático. A pesar de ser este un problema ampliamente reconocido y con impactos a escala planetaria, en la planificación urbana contemporánea se ha prestado muy poca atención a la búsqueda de soluciones a estos problemas, recientemente, se ha realizado en Quito, Ecuador, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible: Hábitat III, con el fin de discutir las dinámicas actuales producidas por el crecimiento urbano, los modelos actuales de desarrollo y el estado de los asentamientos humanos en todo el planeta.

La conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), desde su nueva agenda urbana plantea en su plan de aplicación en el desarrollo urbano resiliente y sostenible ambientalmente, un nuevo paradigma urbano en el que reconocen que:

Las ciudades se enfrentan a amenazas sin precedentes a causa de las pautas insostenibles de consumo y producción, la pérdida de biodiversidad, la presión sobre los ecosistemas, la contaminación, los desastres naturales y los causados por los seres humanos, el cambio climático y los riesgos conexos. (ONU, 2016, 11).

Y estos repercuten negativamente sobre los “esfuerzos para poner fin a la pobreza en todas sus formas y dimensiones y alcanzar la sostenibilidad y la resiliencia” (ONU, 2016, 11).

El debate está abierto; por un lado se acude al derecho a la ciudad, promulgado por Henry Lefebvre en 1978: “no puede concebirse como un simple derecho de visita o retorno hacia las ciudades tradicionales. Solo puede formularse como derecho a la vida urbana, transformada, renovada”. En ese sentido, desde la Nueva Agenda Urbana se imaginan ciudades y asentamientos que, además de una función social, cumplan con una función ecológica, con miras a lograr progresivamente y adicional de la realización del derecho a una vivienda, [...] el acceso universal al agua potable y al saneamiento desde la protección, conservación, restablecimiento y promoción de sus ecosistemas, recursos hídricos, hábitats naturales y diversidad biológica, al buscar reducir al mínimo su impacto ambiental hacia la adopción de modalidades de consumo y producción sostenibles.

Así mismo, en los principios y compromisos de la Nueva Agenda Urbana de la ONU (2016) se busca:

Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, promoviendo el uso de la energía no contaminante y el uso sostenible de la tierra y los recursos en el desarrollo urbano; protegiendo los ecosistemas y la diversidad biológica, entre otras cosas, alentando la adopción de estilos de vida saludables en armonía con la naturaleza; alentando modalidades de consumo y producción sostenibles. (ONU, 2016, 5).

Resulta de especial interés el enfoque sistémico inherente a los compromisos adquiridos en la Nueva Agenda Urbana de Hábitat III, desde la comprensión

de que los sistemas urbanos son interdependientes (Maturana, 1997) de los sistemas ecológicos y, así mismo, que los problemas ambientales actuales se encuentran directamente relacionados con el desequilibrio de la relación entre ambos sistemas, a partir de una relación de dominio de la especie humana sobre el resto de la naturaleza, heredada de la tradición judeocristiana en la que los sistemas ecológicos son vistos como recursos para ser explotados al servicio de los seres humanos.

Otros compromisos de la Nueva Agenda Urbana (ONU, 2016,12) relacionados específicamente con la gestión del agua hablan de: “prestar especial atención a las zonas urbanas donde existan deltas fluviales, costas y otras áreas especialmente vulnerables desde el punto de vista ambiental”, al destacar “[...] su importancia como proveedores de los ecosistemas, de importantes recursos para el transporte, la seguridad alimentaria, la prosperidad económica, los servicios de los ecosistemas y la resiliencia”.

Desde el punto de vista de la planificación territorial y la gestión integrada de los recursos hídricos, se incorpora una visión integral, por parte de la ONU (2016): “teniendo en cuenta la continuidad entre las zonas urbanas y las rurales a escala local y territorial, y con la participación de las comunidades y los interesados pertinentes”.

Los sistemas tradicionales de Planificación y gestión territorial han mantenido una dicotomía entre lo urbano y lo rural, al desconocer las interacciones recíprocas y esenciales entre los subsistemas biofísicos y culturales de ambos territorios. La nueva apertura en las políticas de desarrollo a través de la planificación ambiental obliga a romper la dicotomía urbano-rural, al comprender las relaciones ecosistema-cultura como una unidad interactuante, cuya lectura se facilita a través de un enfoque sistémico:

- Promover la conservación y la utilización sostenible del agua mediante la rehabilitación de los recursos hídricos en las zonas urbanas, periurbanas y rurales, la reducción y el tratamiento de las aguas residuales, la reducción al mínimo de las pérdidas de agua, el fomento de la reutilización del agua y el aumento del almacenamiento de agua, su retención y su recarga, teniendo en cuenta el ciclo del agua.

Estas directrices, firmadas por los gobiernos e implementadas como principios de desarrollo urbano sostenible, permiten incluir de manera directa

en los procesos de ordenamiento del territorio y planificación urbano y rural, al agua como elemento esencial para las comunidades y su desarrollo. Es así como desde la planificación y gestión del desarrollo espacial urbano, la Nueva Agenda Urbana (ONU, 2016) promueve:

- Inversiones adecuadas en infraestructuras de protección accesibles y sostenibles y en sistemas de servicios de agua, saneamiento e higiene, aguas residuales, gestión de desechos sólidos, alcantarillado urbano, reducción de la contaminación del aire y gestión de aguas pluviales, a fin de mejorar la seguridad en caso de desastres relacionados con el agua; mejorar la salud; lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos, así como el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos [...].
- Equipamiento de servicios públicos de abastecimiento de agua y saneamiento, con capacidad para aplicar sistemas de gestión sostenible de los recursos hídricos, incluida la conservación sostenible de los servicios de infraestructura urbana, mediante el desarrollo de la capacidad, con el objetivo de eliminar progresivamente las desigualdades y promover el acceso universal y equitativo al agua potable y asequible para todos y a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos.

Los modelos de desarrollo a nivel global han estado sujetos a una relación de dominio y de crecimiento continuo, el hombre está inmerso en una plataforma tecnológica y de consumo (Morin, 2009) y la problemática ambiental contemporánea evidencia la alteración del equilibrio inicial de los ecosistemas existentes en el planeta.

Las interacciones entre los sistemas naturales y sociales requieren de una mirada holística en la búsqueda de integrar los sistemas sociales de producción rural y los impactos sobre el ecosistema. La solución a problemas y conflictos ambientales complejos inscritos global y localmente en la interacción ecosistema-cultura, no se ha tratado sistémicamente en la planificación territorial y gestión de los asentamientos humanos, por cuanto la división histórica entre lo rural y lo urbano ha conformado una dicotomía condicionante para comprender la realidad ecosistémica, como contenedora interactuante y dependiente de las actividades humanas relacionadas con su sistema cultural, entendido como un sistema de sistemas biofísico, social, tecnológico, simbólico, organizacional, de conocimiento y cultural.

Al aceptar estas complejas interrelaciones y dependencias recíprocas, propias de estos y con el direccionamiento del desarrollo sostenible, nos dirigimos hacia la comprensión y reinterpretación de dinámicas ambientales¹ urbano-rurales, bajo los preceptos contemporáneos de calidad de vida que entrelaza los componentes del medio de vida o ecosistema, las condiciones de vida o derechos fundamentales y el nivel de vida y los aspectos económicos que inciden en las comunidades, esta nueva visión del desarrollo, permite superar la visión economicista y reconoce que la calidad de vida está necesariamente conectada con la calidad del ambiente, con la interpretación de las formas de identidad, cooperación, solidaridad, participación y satisfactores de necesidades y aspiraciones humanas (Maslow, 1962), para la realización de nuevos procesos de trabajo.

Referencias

- Ángel-Maya, A. (2013). *El Reto de la Vida. Ecosistema y Cultura, Una Introducción al Estudio del Medio Ambiente*. Segunda edición. Recuperado de: www.augustoangelmaya.com
- Banco Mundial. (2017). *Desarrollo urbano*. Recuperado de: <http://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Davis, K. (1976). *La ciudad: su origen, crecimiento e impacto en el hombre*. Serie: *Selecciones de Scientific American*. [traducido al español de: *Cities: Their Origin, Growth and Human Impact: Readings from "Scientific American"*]. Madrid: Blume DL.
- Lefebvre, H. (1978). *El derecho a la ciudad*. Barcelona: Ediciones Península.
- Lefebvre, H. (1968). *Le droit a la ville*. Paris: Editions Anthropos.
- Maturana, H. (1997). *La realidad: ¿Objetiva o construida? Fundamentos biológicos de la realidad*. México: Ediciones Anthropos.
- Maslow, A. (1962). *Toward a Psychology of Being*. New York: Van Nostrand.

¹ Entendiendo al ser humano como parte del sistema ecológico pero con su nicho en la cultura y la tecnología según Augusto Ángel-Maya (2013).

Morin, E. (2009). *Introducción al Pensamiento Complejo*. Barcelona: Ediciones Gedisa.

Population.city. (2017). *Población 1800-2100. Population.city.2015*. Recuperado de: <http://poblacion.population.city/world/#1>

Odum, E. (1972). *Ecología*. México: Editorial Interamericana.

ONU. (10 de julio del 2014). Más de la mitad de la población vive en áreas urbanas y seguirá creciendo. *Centro de Noticias ONU*. Recuperado de: <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>

ONU. (Octubre, 2016). Tema 10 del programa provisional. Aprobación del documento final de la Conferencia. Presentado en la conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), Quito, Ecuador.

ONU. (21 de julio del 2017). La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030. *Centro de Noticias ONU*. Recuperado de: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>

ONU-HÁBITAT. (2009). *Informe mundial sobre asentamientos humanos, 2009. ONU-HÁBITAT por un mejor futuro urbano*. Recuperado de: <http://mirror.unhabitat.org/documents/GRHS09/K0952834s.pdf>



DISPONIBILIDAD DE AGUA: UN TEMA DE RIESGO DE DESASTRES

Juan Pablo Londoño Linares¹

Paula Andrea Cifuentes Ruiz²

¹ Ingeniero civil, M. Sc., Ph. D. Docente de tiempo completo en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria.

² Arquitecto, M. Sc., Ph. D. Profesora asociada de la Universidad de La Salle.

La historia reciente muestra evidencias de que los desastres debido a extremos climáticos han aumentado su frecuencia, lo que deriva en impactos sobre las comunidades, su salud, propiedades, infraestructura, ambiente, etc.

El incremento de los llamados desastres naturales está conectado al cambio en ciertas variables climáticas como son la temperatura y la precipitación, lo cual se relaciona con los conceptos de cambio y variabilidad climática; por ejemplo, en el caso de la intensidad de las lluvias y el aumento del nivel del mar; por otra parte, a las actividades humanas, tales como el cambio de usos del suelo, el incremento de la población y el crecimiento y expansión urbana y todas las presiones que ello genera.

Adicionalmente, al considerar la ubicación geográfica de ciertos países, la incidencia de patrones y las escalas de variabilidad climática representada en los fenómenos ENSO, en sus fases fría y cálida: El Niño y La Niña, son determinantes en los impactos que estos escenarios desencadenan. Algunas consecuencias son las emergencias asociadas a inundaciones lentas, crecientes súbitas, deslizamientos de tierras en el caso de la fase fría, y sequías y escases de agua en la fase cálida, todo representado en afectaciones a la población en término de pérdidas de vidas y pérdidas económicas.

Eventos por exceso de agua

El incremento en la frecuencia de eventos de precipitaciones extremas tiene impactos en áreas urbanas a través de las inundaciones, lo que causa la destrucción de viviendas e infraestructura, contaminación de fuentes de agua y expande enfermedades relacionadas con la contaminación hídrica (IPCC, 2014).

Las inundaciones resultantes de lluvias intensas o por presiones antropogénicas representadas en la ocupación ilegal de márgenes de ríos, están entre los casos más comunes, costosos y mortíferos de los desastres naturales en el mundo.

Los impactos en la salud humana y en el ambiente resultante de inundaciones varían de lugar a lugar dependiendo de la severidad de la amenaza y de la vulnerabilidad y exposición de la población afectada (EPA, 2016).

Las inundaciones son un problema serio y común en los países desarrollados y en vías de desarrollo, pero los efectos de ellas en cuanto a pérdida de vidas y propiedades son mucho mayores en países en vías de desarrollo, debido a las condiciones inseguras de vida, deficiencias en infraestructura sanitaria, falta de acceso a agua potable y alto grado de endemividad de ciertos patógenos.

En el caso colombiano, la variabilidad climática, representada en los fenómenos ENSO en sus fases fría (La Niña) y cálida (El Niño), son determinantes para entender los patrones climáticos. Por ejemplo, el fenómeno de La Niña en 2010-2011 tuvo una marcada influencia en el clima del país, lo que generó emergencias asociadas a inundaciones lentas, crecientes súbitas y deslizamientos de tierra, con pérdidas humanas y materiales (IDEAM 2011).

Según datos de Cepal (2012), tras la ola invernal y entre los meses de septiembre del 2010 y mayo del 2011, el número de emergencias se elevó a 2.219, conformadas por 1.233 inundaciones (55,6% del total de emergencias), 778 deslizamientos (35,1%), 174 vendavales y 24 avalanchas; los eventos restantes fueron tormentas eléctricas, granizadas y tornados. El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), mediante métodos cartográficos, estimó la extensión de las zonas inundadas; los resultados obtenidos, después de analizar 45,9 millones de hectáreas (66,3% del territorio nacional) fueron que se encontraron inundadas 3,5 millones de hectáreas, de las cuales 19% son cuerpos de agua (ríos, lagunas, pantanos, etc.), 34,4% son terrenos con inundaciones periódicas, y un exceso de inundación en el 46,6% de territorio restante (1.642.108 hectáreas).

También se produjeron numerosos fenómenos de remoción en masa, el más grave estuvo localizado en el municipio de Gramalote, en el Norte de Santander, que afectó a 4.000 habitantes, dejando 100 viviendas destruidas y 900 averiadas, lo cual representó la necesidad de evacuar totalmente el municipio. Otro evento desastroso fue un deslizamiento en el municipio de Bello (Antioquia), que el 5 de diciembre del 2010 dejó 82 muertos, 38 desaparecidos, 10 heridos, 735 damnificados y 107 viviendas destruidas (Cepal, 2012).

Los aludes y avalanchas que fueron producto de lluvias y desbordamientos de ríos generaron enormes afectaciones. Entre las más relevantes, en La Cruz,

Nariño, el 20 de diciembre del 2010, 13 personas perdieron la vida y cinco viviendas fueron destruidas; en San Vicente del Chucurí, Santander, el 18 de mayo del 2011, el desbordamiento de la Quebrada Las Cruces produjo una avalancha que dejó 11 personas muertas, 267 viviendas afectadas y 1.200 personas tuvieron que ser reubicadas. El 7 de noviembre del 2011, en Manizales, Caldas, un deslizamiento en el barrio Cervantes dejó 48 muertos (Cepal, 2012).

De igual manera, en la mayoría de países andinos puede citarse un sinnúmero de antecedentes que dan cuenta de la gravedad de las consecuencias generadas por eventos de origen hidrometeorológico, lo cual, combinado con situaciones de vulnerabilidad en el territorio, desencadena verdaderas catástrofes.

A pesar de la existencia de literatura científica sobre la identificación de causas de inundaciones y estudios de amenaza, poco se ha escrito desde un punto de vista integrativo. Se requiere una visión integral para mejorar el entendimiento del riesgo por inundaciones a la vida, propiedades y el ambiente.

Eventos por escasez de agua

En el lado opuesto del espectro, para eventos secos, caracterizados por escasas precipitaciones y una combinación de otras variables de orden hidrometeorológico, también se generan consecuencias marcadas en las actividades productivas, el medio ambiente y la cotidianidad de las personas.

El déficit pluviométrico prolongado ocasiona un desequilibrio hidrológico que impacta directamente en el desarrollo de las actividades humanas (Hunt *et al.*, 2009). La sequía no debe ser analizada como un simple fenómeno natural, sino como el resultado de la interrelación de variables físicas, ambientales y antrópicas (Velasco *et al.*, 2005). Los factores que agravan la severidad de la sequía son las temperaturas altas, los vientos fuertes, la humedad relativa baja, la escasa humedad del suelo y las prácticas territoriales inadecuadas que se realizan en los suelos productivos.

Según sus características, las sequías pueden clasificarse en cuatro tipos diferentes, dependiendo de la escala de tiempo y de la perspectiva de los tomadores de decisiones. Se tienen sequías de tipo meteorológico, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas. Las sequías meteorológicas son un evento natural que se da como resultado de un periodo con un déficit de precipitación anormal. La sequía de tipo agrícola está definida como un régimen de precipitación

corto en el periodo de crecimiento que causa un déficit de humedad en el suelo, lo cual genera efectos adversos en los agroecosistemas.

La sequía hidrológica se refiere a efectos negativos de periodos de precipitación cortos, reflejados en la disponibilidad de agua superficial o subsuperficial (anomalías en el flujo de cauces, los niveles de reservorios, lagos y niveles freáticos); y la sequía socioeconómica ocurre cuando la demanda de algún bien económico (agua, granos, peces, demandas hidroeléctricas) excede el suministro debido a déficit relacionados con condiciones climáticas (WMO, 1975; Doorenbos et al., 1977; Barros et al., 2000).

Una sequía está caracterizada por su intensidad, frecuencia, magnitud y dispersión geográfica. La identificación y el análisis de la intensidad de la sequía resultan de suma importancia para la prevención de las eventualidades que estas acarrearán, con respecto a la planificación de la economía de una región (Durán, 1998; Alessandro, 2008; Barros, 2008). Es por ello que se considera de utilidad hacer un monitoreo para el seguimiento de las sequías en el tiempo y el espacio. Uno de los métodos más desarrollados para la detección y evaluación de las sequías es el “Índice de Severidad de Sequía de Palmer” (Palmer, 1965).

Las sequías afectan en forma continua a las regiones destinadas a la agricultura y a la ganadería, al incidir también en la morfometría de los cuerpos de agua que drenan en esas áreas. La ocurrencia de un año lluvioso o seco se asocia con frecuencia a anomalías de la dinámica de los sistemas atmosféricos sobre las grandes cuencas oceánicas, así como a la conexión con anomalías interanuales de la circulación atmosférica, tales como el fenómeno ENSO (Vargas et al., 1999; Grim et al., 2000).

La interacción entre factores climáticos, ambientales y sociales genera influencia en las condiciones de vulnerabilidad a nivel local, y estas, a su vez, son modificadas dependiendo de las condiciones socioeconómicas, culturales y políticas del lugar. La magnitud de los impactos de eventos climáticos extremos depende del nivel de vulnerabilidad y de la exposición de una comunidad a ese tipo de eventos. Así, estos dos se establecen como las fuerzas orientadoras para reducir el riesgo de desastres, sus impactos y aumentar la resiliencia.

Las sequías ocurren lenta y silenciosamente, sin causar impactos a corto plazo, haciendo su identificación en una escala de tiempo difícil. Los impactos múltiples para la salud a menudo no son reconocidos, pero incluyen diferentes

efectos como enfermedades relacionadas con el agua, vectores, problemas nutricionales, condiciones de salud mental y enfermedades respiratorias. Esta condición de invisibilidad también dificulta identificar cuándo comienza o cuándo se detiene una sequía.

Los impactos de las sequías encajan en la definición clásica del riesgo de desastres naturales, y son el resultado de la naturaleza física de la amenaza y la habilidad de las comunidades afectadas para gestionar el riesgo. En regiones donde existen antecedentes de eventos prolongados y recurrentes de sequía, las vulnerabilidades de tipo ambiental se agregan a las existentes de tipo socioeconómico y a la débil organización política e infraestructura, e incrementan los impactos en las comunidades.

Una mejor comprensión de estas interacciones es deseable para zonificar los riesgos y las vulnerabilidades y para identificar los posibles impactos y necesidades de actuación. Todo ello redundaría en contribuir a la gestión del riesgo y a las medidas de adaptación antes y durante una sequía, y permite establecer medidas de prevención o reducción de riesgos futuros.

Riesgo desde la perspectiva de los desastres

Riesgo significa la posibilidad de futuros desastres. Así, el término riesgo de desastre sugiere que existe una posibilidad de que un fenómeno peligroso o evento ocurra y que haya elementos expuestos susceptibles a ser afectados. La reducción de riesgo, bajo esta perspectiva, significa la reducción de la posibilidad de futuros desastres. Así que el desastre surge en un contexto social o proceso y es detonado por un fenómeno natural, tecnológico o antrópico, que en interacción con un medio susceptible, causa alteraciones intensas en el normal funcionamiento de la comunidad.

Estas alteraciones pueden expresarse, entre otras formas, en pérdida de vidas, serios problemas de salud, daño o destrucción de bienes individuales o colectivos, o en un daño severo al ambiente. Por esta razón, se requieren respuestas rápidas para restaurar el bienestar de las personas o ecosistemas afectados y restablecer los adecuados niveles a sus condiciones de normalidad.

La ocurrencia de desastres requiere de la previa existencia de determinadas condiciones de riesgo. En otros términos, el desastre es la materialización del riesgo preexistente. Las definiciones y conceptos pueden ocultar muchos aspectos

diferentes con amplias variaciones según la disciplina científica, la ideología y el punto de vista ontológico desde el cual se hagan los planteamientos.

Las diferentes formulaciones del problema utilizan las ideas iniciales de la escuela de ecología humana de pensamiento, propuestas por geógrafos de la Universidad de Chicago durante la segunda década del siglo XX y desarrolladas posteriormente por White (1945, 1964, 1973) y por Kates (1971, 1978) en sus estudios de amenazas y desastres. Por otra parte, la consideración de la frecuencia de los eventos amenazantes y su severidad en cuanto a consecuencias ha sido tradicionalmente campo de estudio del aspecto técnico.

A partir de estas ideas, la Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (Undro) y la Unesco organizaron una reunión de expertos en julio de 1979, con el objetivo de unificar definiciones relacionadas con desastres. El reporte que surgió de este encuentro, *Natural Disasters and Vulnerability Analysis* (UNDRO, 1980), incluye las definiciones de amenaza natural (H), vulnerabilidad (V), elementos en riesgo (E), riesgo específico (S) y riesgo (R).

Desde este punto de vista, riesgo puede definirse como

$$R = E \times S = E \times H \times V$$

Dado que $S = H \times V$

La consideración de la exposición como parte del concepto de vulnerabilidad y, por tanto, la sugerencia de su supresión de la formulación general fue propuesta en sucesivas formulaciones, como la presentada por Fournier d'Albe (1985) y posteriormente por Coburn y Spence (1992). La expresión de riesgo como función de la amenaza y la vulnerabilidad, ahora es ampliamente aceptada en los campos técnicos y científicos y cada vez más en los campos social y ambiental, y fue reformulada (Cardona, 2001) como:

$$R_{ie|t} = f(H_i, V_e)|_t$$

Conocida la amenaza (H) y expresada como la probabilidad de que un evento con una intensidad igual o mayor a "i" ocurra durante un periodo de exposición "t", y la vulnerabilidad (V_e), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento "e" a ser afectado o susceptible al daño con la ocurrencia de un evento de intensidad "i", el riesgo R_{ie} es expresado como la probabilidad de pérdida del elemento como resultado de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a "i".

Si C_p expresa la crisis potencial, T_a representa la posibilidad de ocurrencia de un evento detonante, e I_c son las condiciones de inestabilidad del sistema, desde la perspectiva de los sistemas complejos, por lo que es posible proponer el siguiente concepto (Cardona, 2001):

Conocida la amenaza (H) y expresada como la probabilidad de que un evento con una intensidad igual o mayor a "i" ocurra durante un periodo de exposición "t", y la vulnerabilidad (V_e), entendida como la predisposición intrínseca de un elemento "e" a ser afectado o susceptible al daño con la ocurrencia de un evento de intensidad "i", el riesgo R_{ie} es expresado como la probabilidad de pérdida del elemento como resultado de la ocurrencia de un evento con una intensidad mayor o igual a "i".

$$Cp|_t = f(T_a, I_c)|_t$$

Si C_p expresa la crisis potencial, T_a representa la posibilidad de ocurrencia de un evento detonante, e I_c son las condiciones de inestabilidad del sistema, desde la perspectiva de los sistemas complejos, por lo que es posible proponer el siguiente concepto (Cardona, 2001):

Vulnerabilidad y resiliencia, un aspecto clave

La inequidad y la injusticia social son una causa de fondo que puede crear o amplificar el grado de vulnerabilidad y la proporción de las personas viviendo en condiciones inseguras, lo que genera un ciclo de perpetuación de la pobreza y la vulnerabilidad. Estas presiones pueden causar procesos de migración de tipo permanente o temporal, generar repercusiones adicionales y problemas en los migrantes y sus lugares de origen y limitar el acceso a recursos esenciales de vida de las personas.

El desarrollo sostenible y las estrategias de adaptación pueden ayudar a reducir la exposición y la vulnerabilidad y, por tanto, los riesgos, mediante la construcción de capacidad y resiliencia en las comunidades y gobiernos.

En el marco del cambio climático, el desastre es definido por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC) como alteraciones en el normal funcionamiento de una comunidad o sociedad, debido a eventos físicos amenazantes, los cuales interactúan con condiciones sociales vulnerables. El riesgo de desastres es la probabilidad de que ocurra un desastre que se derive de

una combinación de amenaza física y vulnerabilidades existentes. La gestión de riesgos de desastres, que es de particular interés para los tomadores de decisiones, debe enfocarse en reducir la exposición y vulnerabilidad y en incrementar la resiliencia frente a efectos adversos potenciales de un evento relacionado con algún extremo climático, como es el caso de la sequía o la inundación.

El término vulnerabilidad es usado en diversas disciplinas, con similar significado, lo cual varía acorde con el campo de estudio. Genéricamente, la vulnerabilidad es entendida como el nivel de probabilidad de un sistema o población de sufrir en caso de estar expuestos a una amenaza, a un cambio en el ambiente o a un estrés social vinculado a factores socioeconómicos o ambientales.

La vulnerabilidad es definida por el IPCC como la propensividad o predisposición a ser adversamente afectado. La vulnerabilidad también se asocia con la falta de capacidad para enfrentar, responder o adaptarse a diferentes condiciones de sobreesfuerzo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) adopta la terminología del IPCC sobre vulnerabilidad al cambio climático, como el grado en que una población, sistema o lugar, es susceptible o incapaz de manejar los impactos adversos y es influenciado por una variedad de otros factores (físicos, biológicos, sociales, culturales, económicos, políticos, institucionales y de acceso o control sobre los recursos para su subsistencia). Cuando las condiciones de fragilidad social y económica son parte cotidiana de una sociedad, la vulnerabilidad global se incrementa, lo cual frente a condiciones climáticas cambiantes hace que las condiciones iniciales sean aún peores.

Los primeros estudios entendían la vulnerabilidad en el contexto del cambio climático como una función de tres dimensiones interrelacionadas: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. La exposición involucra la intensidad, la frecuencia, la duración y la extensión espacial de amenazas a poblaciones, ecosistemas e infraestructuras. La sensibilidad puede ser entendida como las condiciones de vida de una población, las cuales pueden modificar cómo los individuos responden a la exposición (condiciones biológicas o socioeconómicas). La capacidad adaptativa incluye determinantes sociales y económicos, junto con elecciones y oportunidades para resistir o reorganizarse después de un evento o shock.

El reporte especial del IPCC en gestión de riesgo de eventos extremos y desastres para avanzar hacia la adaptación al cambio climático (SREX), adopta el concepto de riesgo como el resultado de la interacción de tres dimensiones:

amenaza (eventos climáticos), exposición y vulnerabilidad. Este reporte muestra alta confianza en que la severidad de los impactos de eventos climáticos extremos depende del grado en que los sistemas socioecológicos están expuestos y presentan vulnerabilidades de tipo social. Asimismo, estos elementos son claves para establecer acciones en adaptación y gestión del riesgo de desastres.

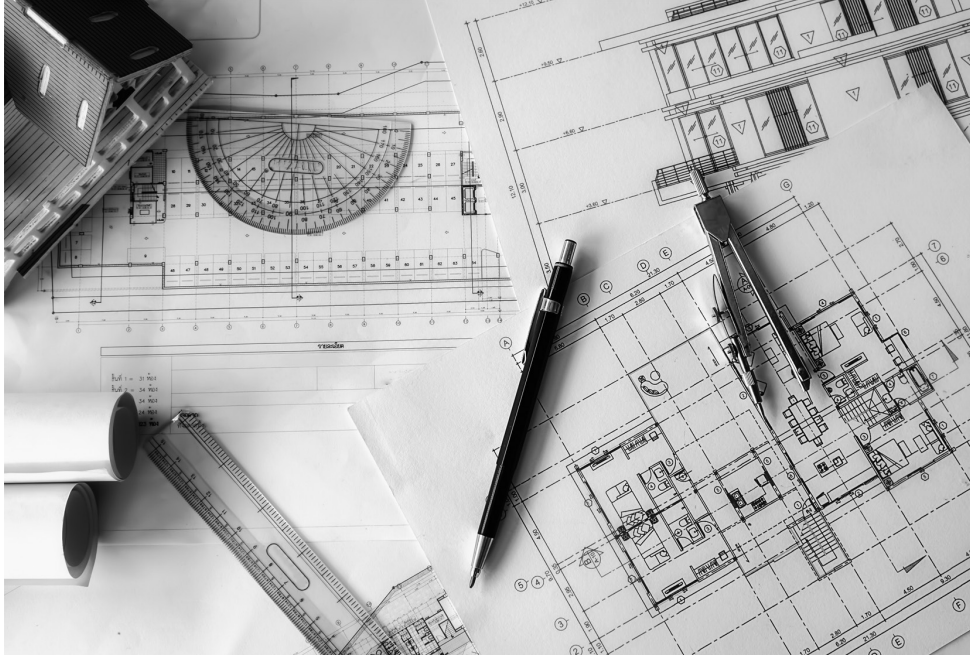
Desde este último punto de vista, resulta determinante el grado de organización de una sociedad, lo cual está íntimamente ligado a la forma en que se gestiona el territorio donde tiene lugar la manifestación de fenómenos amenazantes, producto de situaciones de cambio y variabilidad climática; situación aún más crítica si se consideran las particularidades del territorio colombiano, cuya población se asienta, en gran parte, sobre montañas andinas. Esa gestión del territorio debe considerar aspectos multidisciplinarios que impliquen preparar a la sociedad para enfrentar todas las condiciones posibles y cambiantes, al tener la gestión del riesgo como eje estructurante de todos los procesos. Una sociedad preparada para enfrentar los efectos adversos, para recuperarse de los impactos, aprender de ellos y generar efectos de retroalimentación, es una sociedad resiliente.

Referencias

- Alessandro, A. P. (2008). Anomalías de circulación atmosférica en 500 y 1000 hpa asociada a la sequía producida en la Argentina, durante enero de 2003 a marzo de 2004. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 23(1), pp. 12-29
- Barros, V. A. (2008). Adaptation to climatic trends: lessons from the argentine experience. pp. 296-350. En: Leary, N., Burton, I., Adejuwon, J., Barros, V., Lasco, R. Kulkarni, J. I. (eds). *Climate change and adaptation*. Londres: Earthscan.
- Barros, V., González, M., Liebmann, B. & Camilloni, I. (2000). Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in South-eastern South America. *Theoretical and Applied Climatology*. 3(67), pp. 123-133.
- Cardona, O. D. (1995). Prevención de desastres y preparativos para emergencias: aspectos técnico científicos, sociales, culturales e institucionales. Bogotá: Centro de Estudios sobre Desastres y Riesgos CEDERI, Universidad de los Andes.

- Cardona, O. D. (1999). Environmental Management and Disaster Prevention: Two Related Topics. En: A Holistic Risk Assessment and Management Approach. Natural Disaster Management, Ingleton, J. (Ed.). Londres: Tudor Rose.
- Cardona, O. D. (2001). Estimación Holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. (Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña). Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6219>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2012). *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011*. Bogotá: Misión BID - Cepal.
- Coburn, A. & Spence, R. (1992). *Earthquake Protection*. New York: John Wiley & Sons.
- Durán, D. (1998). Las sequías como riesgo natural. En *La Argentina ambiental. Naturaleza y Sociedad*. Buenos Aires: Lugar Editorial. Pp. 71-138.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. & Land and Water Division. (1977). *Crop water requirements*. Irrigation and drainage series. 24, 144 p. Roma: FAO.
- Environmental Protection Agency (EPA - U.S.). (2016). *Climate change indicators in the United States, 2016*. Fourth edition. Recuperado de: www.epa.gov/climate-indicators.
- Fournier d'Albe, M. (1985). The quantification of seismic hazard for the purposes of risk assessment. Presentado en la International conference on reconstruction, restauration and urban planning of towns and regions in seismic prone areas. Skopje, Yugoslavia.
- Grimm, A. M., Barros, V. R. & Doyle, M. E. (2000). Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña event. En *Journal of Climate*. 13 (1), pp. 35-58.
- Hunt, E. D., Hubbard, K. G., Wilhite, D. A., Arkebauer, T. J. & Dutcher, A. L. (2009). The development and evaluation of a soil moisture index. En *International Journal of Climatology*. 29(5), pp. 747-759.
- IDEAM (2011). Análisis del impacto del fenómeno La Niña 2010-2011 en la hidroclimatología del país. Presentado en el IX Congreso Colombiano de Meteorología. Bogotá, Colombia.

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-FrontMatterA_FINAL.pdf
- Kates, R. W. (1971). Natural hazard in human ecological perspective: Hypotheses and models. *Economic Geography*. 47(3), pp. 438-451.
- Kates, R. W. (1978). *Risk assessment of environmental hazard*. New York: John Wiley & Sons.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought*. [Research Paper N.º 45]. Washington D.C.: U.S. Weather Bureau.
- Vargas, W. M., Penalba, O., Minetti, J. (1999). Las precipitaciones mensuales de la Argentina y el ENOS. Un enfoque hacia el problema de la decisión. *Meteorológica* 24, pp. 3-18.
- Velasco, I., Ochoa, L. y Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. En: *Región y Sociedad*. XVII (34). Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/102/10203402.pdf>
- White, G. F. (1945). *Human adjustment to floods: a geographical approach to the flood problem in the U.S.* [Research Paper 29]. Chicago: Department of Geography, University of Chicago.
- White, G. F. (1964). *Choice of adjustment of floods*. [Research paper 93]. Chicago: Department of Geography, University of Chicago.
- White, G. F. (1973). Natural Hazards Research. En *Directions in Geography*. Pp. 193-216. Londres.
- WMO. (1975). *World Climate Programme. Data and Monitoring. Drought and Agriculture*. [Technical Note No 138]. Suiza: WMO.



URBANIZACIÓN, RIESGOS Y NECESIDADES DE ORDENAR EL TERRITORIO

Juan Pablo Londoño Linares¹

Paula Andrea Cifuentes Ruiz²

¹ Ingeniero civil, M. Sc., Ph. D. Docente de tiempo completo en la Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria.

² Arquitecto, M. Sc., Ph. D. Profesora asociada de la Universidad de La Salle.

Desastres y desarrollo

Los desastres naturales ocurren alrededor del mundo. No obstante, su impacto es mayor en países en vías de desarrollo, donde su frecuencia es alta. En muchos casos, la ocurrencia de desastres naturales se debe a dos factores principales: primero, existe una relación entre la localización geográfica y las características geológicas y geomorfológicas, pues los países en vías de desarrollo, están localizados en zonas afectadas por actividad volcánica, sismicidad e inundaciones. La segunda razón está conectada al desarrollo histórico de esos países, donde las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales no son buenas y, consecuentemente, actúan como factores de incremento de vulnerabilidad a desastres naturales (vulnerabilidad económica, social, política y cultural) (Alcantara-Ayala, 2002).

En la década de 1960, se introdujo la idea de devastación causada por desastres naturales como resultado de las características sociales y económicas de regiones donde tenían lugar (White, 1964; Kates, 1962), y no fue sino hasta 1970 que se aceptó el rol de las condiciones económicas y sociales como factores de vulnerabilidad frente desastres naturales.

El interés de entender, además del evento natural *per se*, las características de riesgo en las áreas propensas al fenómeno, orientó la atención de científicos sociales hacia el estudio del riesgo y de la vulnerabilidad (e.g., Albala-Bertrand, 1993; Blaikie *et al.*, 1996; Cannon, 1993; Winchester, 1992). De esta manera y mediante el análisis de experiencias, fue cada vez más aceptado que existe una relación entre los desastres ocurridos y los modelos de desarrollo de las áreas afectadas. Como lo dice el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNPD) (2004), es importante recordar que un colegio o centro de salud destruido durante un terremoto, fue alguna vez un proyecto de desarrollo financiado por recursos nacionales, o bien por ayudas externas de cooperación para el desarrollo.

El UNDP (2004) resaltaba que solo el 11 % de la gente expuesta a amenazas vive en países con bajo desarrollo humano, pero que el 53 % de la mortalidad por desastres está concentrada en esos países que tienen bajos ingresos, baja esperanza de vida y bajos niveles educativos. Otro estudio del UNDP (2007) anotó que el riesgo de desastres es considerablemente más alto en países en desarrollo. La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (ISDR) de las Naciones Unidas (ISDR, 2009) sugirió también que los países con bajos ingresos (*low-incomes*) representan el 13 % de la exposición, pero aportan por lo menos el 81 % del riesgo de mortalidad.

En la misma línea de su título “Reducing disaster risk. A Challenge for Development”, el reporte del UNDP (2004) refuerza la realidad de que las amenazas naturales —terremotos, sequías, inundaciones y tormentas— se transforman en desastres (“innaturales”) en la forma de muerte, heridos y daño, debido únicamente a acciones humanas de omisión o comisión. Se hace eco de la contribución de O’Keefe, Westgate and Wisner a Nature hace unos 35 años. O’Keefe *et al.* (1976) argumentaron que los desastres fueron una consecuencia más de factores socioeconómicos que naturales y han provocado un cambio de paradigma desde la idea de “desastres naturales” a la visión de la “construcción social” de los desastres (ver también Canon, 1993).

Durante el periodo 1980-2012, las pérdidas totales estimadas, debidas a desastres, alcanzaron un monto de 3,8 trillones de dólares. Los desastres tienden a sumir a las personas en la pobreza y arrojarlos a un bucle; hogares pobres y marginalizados tienden a ser menos resilientes y a enfrentar grandes dificultades para absorber y recuperarse del impacto de un desastre (UNDP, 2004). En este contexto, la resiliencia puede entenderse como la habilidad de las sociedades para resistir, enfrentarse y recuperarse de un shock. De esta manera, el riesgo puede reducirse mediante el reforzamiento de la resiliencia.

Múltiples estudios detallados sugieren que el gran driver del riesgo de desastres en años recientes ha sido el sustancial crecimiento de la población y de activos en áreas en riesgo. La migración a áreas costeras y la expansión de ciudades en llanuras de inundación, junto a inapropiados estándares de construcción, están entre las principales razones del incremento. Los desastres hidrometeorológicos, por ejemplo, aportan el 74 % (2,6 trillones) del total de pérdidas reportadas, 78 % (18.200) del total de desastres y 61 % (1,4 millones) del total de víctimas.

Pocos países tienen las herramientas, la experticia y los mecanismos para considerar el impacto potencial del riesgo en sus decisiones de inversión, y es poco común contabilizar pérdidas, recolectar datos, y evaluar el riesgo sistemáticamente y de manera prospectiva. Como resultado, no es posible direccionar los recursos necesarios para proteger las inversiones y reducir la exposición a futuros impactos y no se dispone de opciones de priorización de esos recursos, al no conocer el riesgo o amenaza asociada a cada porción del territorio. Esta situación se repite a escalas regionales y municipales.

Por mucho tiempo, la relación causa-efecto entre desastres y desarrollo económico y social fue ignorada. Los ministros de planificación y hacienda y planificadores en general no veían relación entre sus competencias y los desastres. Cuanto mucho, los planificadores esperaban que los desastres no ocurrieran, y si lo hacían, que fueran gestionados eficientemente por entidades de socorro de países donantes u organizaciones internacionales. Los programas de desarrollo no fueron evaluados en el contexto de los desastres; no se consideraba que el desastre pudiera tener efecto en el programa de desarrollo o la posibilidad de que el programa de desarrollo incrementara la probabilidad del desastre o los efectos potenciales del mismo.

De manera incremental, hay un temor de que los desastres resultaran de problemas no resueltos del desarrollo, como la degradación ambiental, el incontrolado crecimiento urbano, el mal funcionamiento del mercado de la tierra y la vivienda, exacerbado por el crecimiento poblacional y el vacío político e institucional. Los desastres fueron vistos en el contexto de la atención de emergencias puntuales y no como producto de un programa a largo plazo de planificación al desarrollo.

Los desastres, la pérdida de infraestructura, producción y vidas humanas están relacionados, en general, con los niveles preexistentes de riesgo. El tipo estructural y el nivel de vulnerabilidad establecido, preconditionan el daño que puede ser causado por un evento físico particular (Blaikie *et al.*, 1996; Hewitt, 1997). Esta vulnerabilidad es el resultado de procesos sociales, que a su vez son consecuencias o componentes de los distintos estilos o modelos de crecimiento y cambio social adoptados o impuestos en diferentes países. En este punto, es posible suponer, por ejemplo, que diferentes modelos de crecimiento se asocian con diferentes consecuencias y expresiones de riesgo y de vulnerabilidad. Alguna expresión de riesgo y vulnerabilidad es inherente a, o estructuralmente

determinada por, los tipos de proceso social que tipifican estos diferentes modelos (Lavell, 2000).

El marco de conocimiento de la relación entre desastre y desarrollo indica cuatro temas principales como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Relaciones entre desastres y desarrollo



Fuente: adaptado de University of Wisconsin, 1997.

Se dibujan aspectos relacionados con el desarrollo y la vulnerabilidad frente a amenazas. De la figura se desprenden varias orientaciones entre las formas de desarrollo y la vulnerabilidad: pueden suponerse aspectos positivos y negativos de la relación desastres-desarrollo en el eje vertical y posturas negativas (pesimistas) y positivas (optimistas) de la relación en el eje horizontal.

Describiendo lo que ocurre en cada cuadrante, se tiene:

- Los desastres pueden interrumpir y retrasar programas de desarrollo, destruyendo años de iniciativas de desarrollo. Por ejemplo, la destrucción de infraestructuras.
- Los procesos de reconstrucción posdesastre proveen oportunidades para iniciar programas de desarrollo, por ejemplo, mediante programas de construcción de viviendas destruidas.

- Los programas de desarrollo pueden incrementar la vulnerabilidad.
- Los programas de desarrollo pueden diseñarse para reducir la vulnerabilidad a desastres y sus impactos negativos. Por ejemplo, códigos de construcción en el caso sísmico.

En el tiempo, los efectos de los desastres pueden degradar el potencial a largo plazo de los países para el desarrollo sostenible y causar que los gobiernos modifiquen sustancialmente sus prioridades y programas de desarrollo económico.

De igual manera, los desastres a menudo proveen oportunidades para el desarrollo. Puede propiciarse una atmósfera a favor del cambio o creación de programas racionales de desarrollo como entrenamiento, construcción de casas y reforma de la tierra. Un enfoque incorrecto de la ayuda puede tener implicaciones negativas en el desarrollo por años, en el sentido en que puede incrementar la vulnerabilidad.

Es importante considerar el potencial, los riesgos y las consecuencias de los desastres como parte de un programa de planificación al desarrollo, en el cual se enfatizan las oportunidades para prevenir y mitigar el daño y el impacto.

Riesgos como problemas no resueltos del desarrollo

Al aceptar que el riesgo es un proceso caracterizado por tener cierto periodo de incubación y no por ser un suceso súbito, Mansilla (2000) desarrolla un análisis de los factores que han llevado, a lo largo de la historia, a la configuración de escenarios dispares de riesgos, al desentrañar de las relaciones hombre-naturaleza algunos factores incubadores de riesgo. A partir de la idea de la satisfacción de necesidades básicas que siempre ha guiado las actuaciones humanas, Marx (1884) entendía la relación hombre-naturaleza como la satisfacción de las necesidades materiales del hombre (proceso productivo) y la adaptación de las comunidades en el territorio (espacios de habitación), siendo el primer factor esencial y determinante sobre la conformación de asentamientos. Surge así la necesidad de “socializar” la naturaleza; es decir, de transformarla y adaptarla para satisfacer las propias necesidades, y es desde este punto donde empiezan a emerger los elementos constitutivos del riesgo (Mansilla, 2000).

En la sociedad primitiva, esta relación se fundamentaba en el respeto y la protección de los recursos naturales; existía equilibrio entre la explotación de la naturaleza y la satisfacción de las necesidades, seguramente condicionado por el precario desarrollo de las fuerzas productivas más que por una conciencia ecológica. Al desarrollarse las fuerzas productivas y mutar los modos de organización social, cambia el factor dominante de la relación, y se pasa de la simple satisfacción de las necesidades a la generación y apropiación privada del excedente, lo cual es favorecido por el desarrollo tecnológico que permite la explotación más intensiva y torna difícil la recuperación de ecosistemas.

A partir de este punto, se inicia un proceso de degradación de la naturaleza, aumenta la complejidad de la vulnerabilidad y la amenaza toma un carácter más social (origen socio natural, antrópico y tecnológico) que natural. A partir de este punto, la construcción del riesgo se convierte en un proceso inherente al desarrollo de la sociedad.

Varios estudios consideran el acelerado crecimiento de la población, y en consecuencia, la creciente demanda de satisfactores, como uno de los factores clave para entender los cambios en los procesos naturales. A nivel mundial, en 1900 existían 1.700 millones de habitantes y en 1995, 5.900 millones, lo cual induce la necesidad de producir más cantidad de satisfactores. En otros términos, se establece una relación directa entre el crecimiento de la población y la injerencia del hombre sobre los procesos naturales y, por tanto, su transformación. No obstante, esta hipótesis no es suficiente para explicar las transformaciones de la naturaleza y la degradación actual. Es con el surgimiento de las sociedades mercantiles y en particular la sociedad mercantil capitalista, que se gestan las condiciones para la aparición del riesgo incontrolado que caracteriza a la sociedad contemporánea (Mansilla, 2000).

Por otro lado, la propiedad privada y la distribución privada de beneficios propician el surgimiento de clases sociales, junto a la desigualdad social por concentración de ingresos, y a la ampliación de las franjas de pobreza y pobreza extrema entre la población, y obligan a sectores de la sociedad a adoptar formas autónomas de reproducción material. Otro factor que contribuye a la construcción del riesgo, particularmente en países en vías de desarrollo, es la iniciativa individual o colectiva que establece sus propias formas de socialización de la naturaleza. Generalmente, se trata de sectores de la sociedad que basan su reproducción material en mecanismos informales, clandestinos o ilegales. Se

trata de sectores que han sido marginados del círculo formal de acumulación, como consecuencia del desempleo o subempleo; de la carencia de tierras debida a la concentración de la propiedad o por la escasez de recursos para entrar a la formalidad. Este sector, cada vez más amplio de la sociedad moderna, se ve obligado a utilizar sus propias formas de subsistencia, se subemplea en cualquier tipo de actividad, o simplemente se establece en zonas de riesgo por falta de opciones (cañadas, márgenes de ríos y lagunas, zonas de inundación, terrenos inestables, laderas de fuerte pendiente, etc.).

Lógicamente, esto constituye una contravención o incumplimiento de las normas del Estado, al no respetarse la normatividad sobre protección de recursos, la reglamentación en construcción de viviendas, los usos del suelo o los planes de ordenamiento. Es como si las condiciones difíciles acentuaran lo que algunos autores han denominado la aceptación social del riesgo, al estructurar verdaderas sociedades del riesgo (Luhman, 1993).

En otro caso, se tienen los sectores que, si bien no han sido excluidos formalmente por el modelo de acumulación vigente, se benefician de él a través de actividades clandestinas, cuyo producto puede incorporarse al mercado, al obtener con ello cuantiosas ganancias que se apropian de manera individual. Algunos ejemplos de ello son la explotación maderera, a través de la tala clandestina, la deforestación para utilizar la tierra en actividades agrícolas y ganaderas, la minería ilegal y la urbanización ilegal, mediante el fraccionamiento de zonas protegidas o con alta incidencia de amenazas.

Dadas estas posibles relaciones entre los elementos constitutivos del entorno, emergen un gran número de factores generadores de riesgo, algunos de ellos estrechamente correlacionados. A continuación, se presenta como ejemplo una clasificación de factores físicos, naturales, ecológicos, tecnológicos, sociales, económicos, territoriales, culturales, educativos, funcionales, político-institucionales, administrativos y temporales, planteados por Cardona *et al.* (2003)

Tabla 1. Factores Generadores de Riesgo

Factores físicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación 	
Factores naturales	
<ul style="list-style-type: none"> • Naturaleza del fenómeno y su magnitud • Ecosistemas frágiles • Tipo de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión • Fenómenos climáticos globales: el calentamiento genera una elevación del nivel del mar, lo que vuelve inhabitables a ciertas costas e islas, por las inundaciones
Factores ecológicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro del ambiente 	
Factores tecnológicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de vivienda • Fallas técnicas en las construcciones (Altura, material, sistema constructivo, efecto martillo, nivel de mantenimiento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de las infraestructuras • Tratamiento y abastecimiento en agua
Factores sociales	
<ul style="list-style-type: none"> • Población • IDH • Mortalidad al nacer • Mortalidad infantil • Esperanza de vida • Malnutrición • Marginalidad • Segregación • Densidad de población • Crecimiento poblacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Población urbana • Densidad poblacional urbana • Crecimiento de la población urbana en los últimos tres años • Género • Edad • Incapacidad física • Organización comunitaria: cooperativas, asociaciones, ONG, lugar de culto • Capacidad de recuperación
Factores económicos	
<ul style="list-style-type: none"> • Recursos • Pobreza • PIB y su crecimiento • Estructura productiva • Poca diversidad económica • Marginalización de los mercados • Dependencia de situaciones económicas externas • Necesidad de importaciones en el campo energético y manufacturero • Endeudamiento de los países • Apertura económica • Concentración de las exportaciones • Periferialidad • Infraestructura • Aumento de la deuda externa 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversiones en salud, educación, • Presencia de ramas particulares de la economía: Turismo, agricultura, transporte (redes de vías y sistemas de transporte) • Altos costos de flete • Falta de acceso a la propiedad • Perfiles de acceso de los hogares • Oportunidades de ingreso • Presupuesto del hogar • Acceso al mercado • Acceso a bancos • Acceso a créditos • Activos líquidos de emergencia que un hogar puede vender para comprar alimentos y reconstruir su casa

ContinuaciónTabla 1. Factores Generadores de Riesgo

Factores territoriales	
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de alcanzar un nivel apropiado de planeación • Leyes que rigen la propiedad del suelo • Uso del suelo • Situaciones de riesgo real, ya registradas en el sitio ("desastres" pasados) • Urbanización rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Hacinamiento de viviendas en los tugurios (perturba los procesos de drenaje y filtración del agua) • Guerras • Aislamiento del centro de salud y educación • Falta de acceso a la propiedad
Factores culturales	
<ul style="list-style-type: none"> • Historia • Casta • Religión • Etnicidad • Clase y relación de clase • Estructuras de dominio • Ideología 	<ul style="list-style-type: none"> • Hacinamiento de viviendas en los tugurios (perturba los procesos de drenaje y filtración del agua) • Guerras • Aislamiento del centro de salud y educación • Falta de acceso a la propiedad
Factores educativos	
<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de alfabetismo • Insuficiente fomento de una cultura de la prevención 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a la información
Factores funcionales	
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de respuesta de emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de evacuación
Factores político-institucionales-administrativos	
<ul style="list-style-type: none"> • Patrón de desarrollo • Gobernabilidad • Estructuras democráticas débiles (escasa participación de la población en los procesos democráticos) • Inequidad • Falta de voluntad política • Malversación (indicador de corrupción, clientelismo) • No incorporación de planes de reducción del riesgo en los planes de desarrollo • Planes de reducción del riesgo • Normas y tipos de normas • Guerras • Asignación de recursos por parte del Estado • Reforma agraria • Política alimentaria • Continuidad de las políticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicación institucional de los organismos responsables (ministerios, presidencia, ejército) • Existencia de estudios de impacto sobre la comunidad cuando se plantea un proyecto: existe la norma / se aplica la norma • Inexistencia o fallas en el código de construcción • Capacitación del personal • Distribución del presupuesto • Falta de coordinación • Falta o insuficiencia de mecanismos o instrumentos para la repartición del riesgo financiero (fondos para desastres, pólizas de seguro)

Continuación Factores político-institucionales-administrativos

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Políticas de prevención y mitigación • Inexistencia de organismo nacional de prevención y atención • Inexistencia de órgano técnico • Comités local y regional (tienen facultades reales y legales) • Baja densidad de centros de salud y de educación | <ul style="list-style-type: none"> • Inexistencia de institutos de investigación en los campos (físico-natural, hidrometeorológico, socioeconómico, técnico/ingeniería, ciencias políticas, sismología/vulcanología, cartografía/geodesia, geografía, geología, geofísica) • No tener una visión multiamenaza • Periodicidad de los encuentros de los organismos operativos |
|--|--|

Factores temporales

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo | <ul style="list-style-type: none"> • Momento (tiempo y duración) en que se presenta el evento |
|--|--|

Fuente: Cardona *et al.*, 2003.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, fueron elaborándose conceptos entre las diferentes disciplinas que cuestionaban la esencia del paradigma mecanicista. La Teoría de la Complejidad, la Idea de Gaia (según la cual, la tierra funciona como un organismo vivo), la Teoría del Caos y conceptos como el de "fractales", y principalmente la visión dialéctico-sistémica sobre la sociedad y la naturaleza, fueron conceptos clave para replantear la visión de la realidad desde la ciencia. Lo ambiental comenzaba a configurarse como un elemento integrador entre la sociedad y la naturaleza. Se comienza a constituir entonces un "paradigma ambiental", al tener dentro de sus características las del ser (Milbrath, 1996):

- Holístico: al aceptar que los fenómenos del universo están intrínsecamente relacionados en diversos niveles de la totalidad.
- Sistémico: al incorporar una perspectiva cibernética en cuanto a la totalidad, la que es estructurada en sistemas de diversa complejidad y jerarquía.
- Integrativo - complejo: al concebir a cada sistema como la unidad dialéctica de las partes, identificadas en el plano de la totalidad y que aceptan la idea de que tienen la propiedad de estructurarse y organizarse a sí mismas.
- Dinámico: al concebir que todas las partes de un sistema están en permanente movimiento, que el organismo o sistema encuentra su estabilidad por la capacidad de adaptación y la búsqueda del equilibrio dinámico y que están en situaciones de una reorganización permanente.

Precisamente, esta interpretación, al aceptar la teoría de sistemas, las interrelaciones entre factores, la complejidad y el aspecto dinámico de los procesos, es la que se ha aplicado a los más recientes estudios de riesgos, principalmente después del trabajo de Wilches-Cháux (1993), donde se sugiere una visión amplia de análisis. Actualmente, la tendencia es a profundizar más en los factores de vulnerabilidad que en los de amenaza, al reconocer el contexto de la situación, buscar en ellos causas de fondo que determinan el riesgo en áreas urbanas, mediante métodos (estadísticos) aproximativos (Lavell, 1993; Chardon, 2002).

Dentro del paradigma ambiental, un concepto fundamental y articulador es el de medio ambiente. Existen varias maneras de definirlo, dependiendo de la perspectiva disciplinaria desde donde se observe, por lo que se establecen diferentes visiones: visión biológica, antropocéntrica, medio ambiente como espacio, medio ambiente como representación social, medio ambiente desde la visión de la ecología humana y medio ambiente desde una visión holística.

Para incorporar el tema específico de la gestión de riesgos en entornos urbanos, es necesario adoptar un enfoque holístico, a partir de la teoría del desarrollo ecológico de Bronfenbrenner (1979), la cual va más allá del medio físico para vincular los procesos sociales y culturales que matizan y les dan un carácter particular a los objetos del medio. El ambiente en esta concepción se considera como una estructura total, compuesta por la interrelación de subsistemas, en los cuales las personas interactúan y se desarrollan.

El punto de partida de esta nueva visión sobre el desarrollo se puede situar en el año 1972, con la Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano, momento a partir del cual comenzó a configurarse un movimiento preocupado por el medio ambiente natural en los países industrializados y en aquellos en vías de desarrollo, al incorporar, además de la preocupación por las fuentes de recursos, preocupaciones ambientales con el crecimiento y desarrollo económico.

En 1987, el concepto de desarrollo sostenible se instituyó en el mundo, mediante el respaldo del informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED) (Wilches-Cháux, 1995). Se parte de la proposición de que el medio ambiente consiste en un complejo conjunto de sistemas ecológicos y recursos naturales, cuyo deterioro amenaza el soporte natural de la vida humana y la base del sistema de producción económica. Por lo tanto, cuidar el medio ambiente y administrarlo con prudencia y criterio ecológico se vuelve

un principio (el de la sostenibilidad) que ha de orientar a todas las actividades sociales; y en un mundo urbanizado, las ciudades se convierten en centros claves para el desarrollo sostenible (UN-Hábitat, 1996), y los riesgos urbanos, entendidos en toda su magnitud y con todos sus componentes (diferentes y variadas causas o factores de vulnerabilidad y amenaza), toman un lugar importante en la lista de situaciones a tratar o eliminar.

La WCED ha definido el desarrollo sostenible como un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin limitar el potencial para satisfacer las necesidades de generaciones futuras, a través de dos conceptos fundamentales:

- La toma de conciencia de las necesidades, en particular, dándole una prioridad predominante a las necesidades de los pobres del mundo.
- La comprensión de que la satisfacción de estas necesidades es limitada, de acuerdo al estado de la tecnología y de las organizaciones sociales.

Las conferencias mundiales sobre Desarrollo Sostenible de la ONU que se han llevado a cabo y las reuniones latinoamericanas y regionales reflejan lo trascendental del tema, para el futuro mismo de la humanidad; sin embargo, todavía se afirma que el gran desafío del momento es el diseño de un cuerpo analítico y operacional, lo suficientemente convincente que permita enfrentar la problemática de las profundas interrelaciones entre desarrollo y medio ambiente.

Considerar los desastres como “problemas no resueltos del desarrollo” es una tendencia de uso común en América Latina hoy en día. Claramente, tal idea encierra una contradicción obvia, dado que el “riesgo” que condiciona la existencia posterior de un desastre debe también ser visto como un producto de los modelos históricos de “desarrollo”, sufridos en la región y sus consecuencias en términos de pobreza, desigualdad, exclusión social, distribución de ingresos, acceso a la tierra, etc.

Los condicionantes sociales y ambientales de los desastres, y la naturaleza de las relaciones entre desastres y desarrollo, han sido objeto de una creciente atención por parte de investigadores en el área de los riesgos y los desastres en América Latina durante los últimos quince años y, particularmente, desde principios de la década de los 90, al establecer una línea de continuidad con las ideas vertidas por Cuny, Hewitt, Westgate y otros en Europa y Norteamérica, con anterioridad. Esta línea de indagación, de características multidisciplinarias y con una fuerte presencia de profesionales de las ciencias sociales, ha sido promovida

en gran medida dentro de un enfoque informado por la idea de que los desastres representan “problemas no resueltos del desarrollo”.

Al reiterar las ideas anteriores, el desequilibrio que generan los asentamientos humanos en el territorio reside en la presunción occidental de que la naturaleza existe para ser dominada y utilizada, lo cual está en la base de la llamada crisis ambiental de la actualidad. Otra parte de la explicación reside en el imperativo de las modalidades de crecimiento económico, en boga durante las últimas décadas, pero esencialmente desde el inicio de la Revolución Industrial, tipificada entre otras cosas por la acelerada transformación de la sociedad, de una relación inmediata con la naturaleza, en una donde dominan las relaciones inmediatas; la urbanización desecologizada; la búsqueda de la ganancia a corto plazo; el empobrecimiento de grandes masas de la población, su marginalización en el territorio y su inseguridad frente a la vida cotidiana. La sociedad moderna es la nueva “sociedad del riesgo” (Luhmann, 1993).

Ahora bien, aunque es cierto que el factor dominante en la condición de desastre es la vulnerabilidad de la sociedad, la cual comprende múltiples facetas particulares (Wilches Chau, 1993), también es cierto que por la intervención humana en los ecosistemas y por el desarrollo de nuevas tecnologías de producción y transporte, se genera una gama nueva de amenazas, las cuales difícilmente podrían llamarse “naturales”, pero que se suman y amplían el rango de amenazas existentes, a fin de cuentas son parte importante de la ecuación del desastre.

Una categoría de estas nuevas amenazas ha recibido el nombre de “socio-naturales” (Lavell, 1996), las cuales comprenden amenazas que toman la forma de amenazas naturales y, de hecho, se construyen sobre elementos de la naturaleza; sin embargo, su concreción es producto de la intervención humana en los ecosistemas y ambientes naturales y se producen en la intersección de la sociedad con la naturaleza. Así, por ejemplo, la destrucción de las cuencas y la deforestación contribuyen en determinados casos a un aumento en la incidencia e intensidad de inundaciones, deslizamientos y sequías; la urbanización sin infraestructuras adecuadas para el drenaje pluvial cambia el equilibrio del ecosistema local, lo que inundaciones urbanas; el corte de manglares en las costas contribuye a la erosión costera y al impacto negativo de las tormentas y huracanes. La manifestación más extrema de este tipo de intervención negativa sobre la naturaleza, sin lugar a dudas, está constituida por los procesos de

reducción de la capa de ozono y el cambio climático global, procesos que se pronostica tendrán repercusiones futuras importantes, en términos de la fuerza de huracanes, los patrones de lluvia e inundación y sequía.

Un lugar común de ambos conceptos está constituido por los asentamientos humanos; allí convergen claramente las intervenciones sobre el entorno natural y los procesos sociales de ocupación del territorio. Esta relación dinámica genera escenarios de riesgos en múltiples escalas que mutan en la medida que se interviene el entorno o a raíz de las dinámicas propias de la sociedad.

Modelos de desarrollo y riesgos

Históricamente en América Latina, la concepción que se tiene de los desastres naturales hace referencia a las relaciones sociales y a la relación histórica entre la sociedad y la naturaleza. Generalmente, se ha puesto el énfasis en los momentos posteriores a la ocurrencia de eventos, a la atención de los efectos sociales, las estrategias de adaptación y prevención, a los conflictos sociales y al manejo de los desastres por parte de grupos dominantes para preservar su posición política, social y económica a través de la instrumentalización del Estado.

Los desastres, aun cuando claramente afectan, no frenan en mayor medida el desarrollo (Albala Bertrand, 1993). Al contrario, el problema más relevante es que los desastres son la consecuencia lógica e inevitable del subdesarrollo. El subdesarrollo, la insostenibilidad ambiental y la pobreza son las causas inmediatas y principales de los desastres. Estos no arrojan a los pobres a un estado de subdesarrollo, al contrario, ellos están allí antes del desastre y si este los proyecta de un estado de pobreza a un estado de miseria completa, este no es un problema causado por el desastre en sí, sino que se trata de un problema de fondo que está vinculado con el lugar donde estaban los pobres antes del desastre.

Cuando alguien está en el límite de la supervivencia, no se requiere más que un pequeño empujón para ser arrojado a la desesperación y la miseria total. Esta situación no afecta a las personas o sectores que controlan recursos, poder y opciones para escoger sus condiciones y circunstancias de vida. Estos pueden resultar afectados, pero raramente estarán económica o físicamente destruidos o inhabilitados. Los desastres rara vez los empujan hacia el límite. Ahorros, seguros, redes sociales y otros mecanismos, los proveen de condiciones de resistencia y

adaptabilidad, y de la capacidad de hacer frente con los problemas que sufren y rápidamente les permite recuperarse (Lavell, 2010).

Esta situación ha llevado a proponer el denominado “paradigma de la vulnerabilidad” como marco interpretativo para la explicación de la ocurrencia de los desastres. Las premisas de este paradigma están, por supuesto, abiertas al debate y cuestionamiento; sin embargo, actualmente pocos se apegarían a la idea de que los desastres son el resultado unilateral de un evento físico de magnitud que hace impacto en una sociedad neutra. Hoy, la referencia a la vulnerabilidad como factor causal de los desastres es casi obligatoria, aun cuando muchos solamente la mencionan sin mayor profundización en su significado y complejidad. El que muy poco se haya hecho para reducir la vulnerabilidad, en una década en que la reducción de los desastres estuvo de moda como idea, puede explicarse por la simple razón de que esto requeriría de cambios fundamentales en los patrones de crecimiento y desarrollo vigentes, los cuales, dadas las circunstancias y el *statu quo* existente, son difíciles, cuando no imposibles de lograr, en un sentido cabal (Lavell, 2000).

El dominio que ejercen las soluciones ingenieriles en la reducción del riesgo, o los preparativos, reflejan su menor grado de aceptabilidad política, al comparárselas con medidas que promuevan la redistribución del ingreso, la reducción significativa de los niveles de pobreza, el empoderamiento de las comunidades, la planificación racional del uso del suelo y el manejo sostenible del ambiente como medidas que proveerían una base real para reducir la vulnerabilidad (Lavell, 2000).

Resulta más fácil negar la naturaleza estructural de la vulnerabilidad y el riesgo, al explicarla como un factor colateral, desatendido, olvidado o soslayado de los modelos de crecimiento, que asumir las consecuencias que su causalidad estructural exigiría. Es más fácil confortarse al apoyar el rumbo impuesto con los modelos, al buscar mejorarlos, introducir mecanismos cosméticos y efímeros para reducir el riesgo, que asumir el reto de la vulnerabilidad como algo estructuralmente determinado, entonces puede reducirse al hacer ajustes al margen, modificar la constitución de los proyectos de desarrollo por haber introducido como criterio la reducción de la vulnerabilidad (Lavell, 2000).

Una parte importante del problema conceptual relacionado con la vulnerabilidad y su relación con el desarrollo deriva de dos situaciones particulares:

Primero, crecimiento económico y desarrollo muchas veces se consideran sinónimos. Dada esta situación, entre las personas dedicadas al tema de los desastres es común que se refieran a cualquier proyecto de inversión como si se tratara de un proyecto de desarrollo, en el sentido más amplio del término, sin considerar, por ejemplo, sus impactos en relación con los indicadores que componen el índice de desarrollo humano de las Naciones Unidas o cualquier otro índice o indicador comprensivo del desarrollo. Con esta imprecisión, no es difícil sugerir que proyectos de desarrollo pueden aumentar o disminuir la vulnerabilidad. Sería más preciso, sin embargo, afirmar que los proyectos e inversiones económicas pueden incrementar o no la vulnerabilidad y dejar el nombre de “desarrollo” para algunos de aquellos que no lo hagan. Esto no resuelve por sí el problema de los proyectos que promueven ciertos parámetros de desarrollo, tales como un mejoramiento en los niveles de educación y salud, mientras a la vez no garantizan la construcción de escuelas y hospitales resistentes a las amenazas; sin embargo, nos mueve en la dirección correcta para eliminar la contradicción implícita en la idea de que el desarrollo puede aumentar o disminuir la vulnerabilidad. Realmente es difícil concebir el desarrollo como un proceso que aumenta significativamente las posibilidades de muerte, o de sufrir daños y pérdidas (Lavell, 2000).

Segundo, al retomar las conclusiones anteriores, la vulnerabilidad es muchas veces concebida como exógena y no endógena al proceso de desarrollo. La vulnerabilidad se convierte en una variable independiente que puede ser modificada negativa o positivamente por el desarrollo. No se considera parte del proceso de desarrollo o subdesarrollo en sí. Esto no es un argumento sostenible. El desarrollo no puede conducir a un aumento en la vulnerabilidad. De hecho, desde la perspectiva de Lavell (2000), la reducción del riesgo debe considerarse un componente definitorio del desarrollo y como tal incluirse como uno de los indicadores utilizados en la construcción del índice de desarrollo humano de las Naciones Unidas.

Aunque no es difícil entender por qué los gobiernos defienden los modelos que impulsan, y por qué en el mundo actual, en que rigen la globalización, la economía neoliberal, el ajuste estructural y la privatización, no es sencillo escapar a la lógica inherente del modelo y de sus consecuencias sociales, tampoco se puede soslayar la interrogante fundamental, en cuanto a si es posible reducir significativamente la vulnerabilidad, sin cambiar los parámetros del modelo en sí (Lavell, 2000).

Esta observación tiene particular importancia cuando se refiere a la vulnerabilidad que afecta a las masas de pobres rurales y urbanos, quienes tienen muy poco acceso a los recursos, al poder y a los mecanismos de selección que se requieren para cambiar significativamente sus condiciones materiales de vida. Estas personas y la vulnerabilidad que sufren, terminan siendo el resultado necesario y supuestamente no estructural de la política adecuada de crecimiento y desarrollo de alguien más. Cualquier esfuerzo para reducir de forma significativa los niveles de vulnerabilidad existentes, mientras se mantengan los parámetros básicos de los modelos de crecimiento vigentes en la región, claramente requeriría de mecanismos de compensación social que exceden, por mucho, las posibilidades y capacidades financieras o la voluntad política de los gobiernos, aún los más avanzados en concepción social y humanitaria. Es extremadamente difícil pensar aquí en un modelo de crecimiento que conduce continuamente a la pobreza y que se acompaña, a la vez, de una política social impulsada por un gobierno que garantiza que los pobres viven en condiciones de seguridad ambiental, en tierras no riesgosas y con viviendas y condiciones de vida seguras (Lavell, 2000).

Si la vulnerabilidad constituye un componente estructural de los modelos, entonces, sin cambios fundamentales, es inevitable que los desastres sigan manifestándose, probablemente con mayores impactos en el futuro. Desastre se convierte en una condición y en un resultado necesario para el “desarrollo”, como se plasma hoy en día. Constituyen parte del proceso mismo y son el precio a pagar por las ganancias logradas, al seguir un modelo de crecimiento que garantiza la pobreza y la vulnerabilidad para muchos y el bienestar para otros (Lavell, 2000).

La ampliación de la agricultura comercial monopolizada ha conducido a la marginalización de la población campesina y a la ocupación creciente y continua de tierras de alto riesgo en el campo y la ciudad. Migrantes urbanos han sido obligados a ocupar tierras en pendientes y sin adecuados sistemas de control de aguas o de procesos desestabilizadores de terrenos en pendiente. Las ciudades han crecido anárquicamente, de forma desecologizada, sin una adecuada planificación del uso del suelo y de las infraestructuras urbanas, convirtiéndose en espacios de riesgo y desastres naturales (Lavell, 2000).

En suma, estos son algunas de las consecuencias del modelo de crecimiento implantado y sus resultados “naturales”, en términos de la vulnerabilidad, el

riesgo y el desastre. Estas condiciones son parte del modelo, son inherentes a él y en consecuencia, están estructuralmente determinadas. La degradación ambiental, la urbanización rápida, la fuerza de trabajo barato y la pobreza, son tanto consecuencias como necesidades del modelo, al igual que los patrones de concentración de las ganancias logradas (Lavell, 2000).

Esto permite apreciar que cuando se analiza la relación entre desastre y desarrollo, no es posible llegar a una conclusión objetiva si no se considera también la forma en que el crecimiento económico y el desarrollo, concentrados en determinados sectores privilegiados, producen las condiciones para que el desastre suceda, y afectar así el futuro progreso. Las conclusiones y consecuencias que se derivan de un análisis puesto en su contexto histórico, que considera los dos momentos del desastre (su causalidad y su impacto) son importantes y deben ser tomadas en consideración (Lavell, 2000).

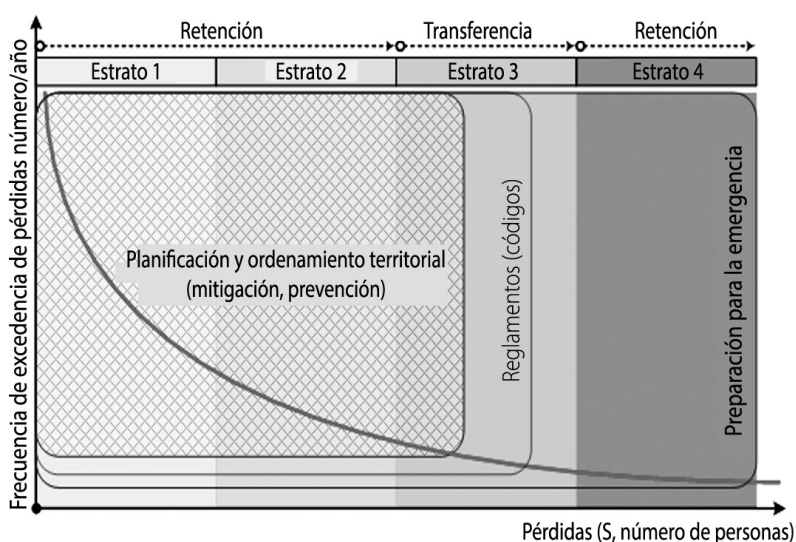
Urbanización, ordenamiento territorial y riesgos

“Desastre” se asocia en el imaginario colectivo, con eventos de gran magnitud, importantes pérdidas de vida, de bienes y producción, con la necesidad de la movilización de grandes cantidades de ayuda humanitaria y con sustanciales costos para el proceso de rehabilitación o reconstrucción de las sociedades afectadas (Lavell, 2010), pero existen otros eventos de consecuencias más contenidas, que ocurren con cierta recurrencia, también detonados por fenómenos naturales, que tienen impactos acumulativos y, muchas veces, pasan desapercibidos, dadas las definiciones o umbrales mínimos requeridos para ingresar a las bases de datos (por ejemplo, EmDat o Desinventar).

En muchos lugares, este tipo de desastres pequeños ocurren regularmente. Existe una creciente evidencia de que la suma de los impactos negativos de estos “no desastres” recurrentes se aproximan, si no exceden acumulativamente a aquellos asociados a los grandes, pero poco recurrentes eventos. Afectan a muchas localidades de forma reiterada y pueden considerarse antecesores e indicadores de eventos futuros de mayor envergadura. Los eventos pequeños recurrentes erosionan, continuamente, la capacidad de desarrollo de las zonas y los poblados afectados, y conducen a una inexorable acumulación de vulnerabilidades, lo que hace que el efecto de los grandes sea más agudo una vez suceden (Lavell, 2010).

Las pérdidas generadas por distintos tipos de eventos pueden expresarse gráficamente mediante una curva (figura 2) que presente, en el eje horizontal, el monto en términos económicos (o humanos) de dichas pérdidas, y en el eje vertical la frecuencia de excedencia de las mismas, en número de veces al año. Este gráfico se conoce como estratificación del riesgo, y fue originalmente propuesto para el Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2010 (ISDR, 2010). Este divide los eventos en cuatro sectores o “estratos” de riesgo; un primer estrato muestra eventos frecuentes que producen pérdidas menores; el segundo presenta una frecuencia moderada con pérdidas intermedias; el tercero una frecuencia menor y pérdidas grandes; y el cuarto, eventos muy esporádicos, cuyas pérdidas presentan un carácter realmente catastrófico.

Figura 2. Estratificación del riesgo (adaptado de ISDR, 2010)



Fuente: adaptado de ISDR, 2010.

En cuanto a las formas de enfrentar estas pérdidas potenciales, la planificación y ordenamiento territorial, a través del planteamiento de acciones de prevención y mitigación en función de un estado deseable de la ciudad (o imagen objetivo), se debería poder atender hasta eventos con niveles de daños grandes y frecuencias de excedencia altas. Mediante reglamentos o códigos, como las normas de construcción sismorresistente, deberían poderse enfrentar eventos con menor frecuencia y mayores daños; y por último, en cualquier caso, la sociedad debería estar preparada para atender las emergencias producidas

por eventos muy poco frecuentes con potenciales daños catastróficos. En cuanto al mecanismo financiero para enfrentar eventos, la retención del riesgo es posible para eventos con frecuencias moderadas y altas, y pérdidas menores e intermedias; la transferencia, por medio de seguros, por ejemplo, sería posible para asumir eventos grandes de menor frecuencia; y la retención residual permitiría recuperarse de los eventos raros y catastróficos.

Esta forma de visualizar el riesgo es útil para resaltar la importancia que tiene la planificación y ordenación del territorio, pues es una estrategia que permite, a través del uso racional del suelo y los recursos, enfrentar situaciones de riesgo, al evitar posibles pérdidas futuras bajo eventos con frecuencias altas, moderadas e incluso menores.

Bajo este enfoque, mediante planificación territorial podrían enfrentarse la mayoría de situaciones recurrentes de alta frecuencia y consecuencias leves, las cuales azotan a la mayoría de ciudades latinoamericanas año tras año; especialmente, las relacionadas con eventos de deslizamientos e inundaciones.

Es claro que bajo las condiciones actuales de la mayoría de ciudades latinoamericanas, no todos los grupos sociales comparten el mismo nivel de vulnerabilidad. Adicionalmente, ser vulnerable solo tiene sentido en un contexto de riesgo. Puede ser lógico considerar que la posibilidad de impactos negativos está distribuida en grupos específicos mediante mecanismos sociales, por lo que, ¿cuál es el proceso que genera vulnerabilidad y puede llevar el riesgo a territorios específicos?, ¿cómo llegaron algunos grupos sociales a ocupar lugares de amenaza?, ¿cómo se gestaron los escenarios de marginalidad actuales?, estas son preguntas cuya respuesta tiene lugar en situaciones previas que obedecen a procesos condicionantes históricos, incluso gestados a través de los propios modelos de desarrollo adoptados en cada lugar, y su explicación debe buscarse mediante la aplicación de enfoques socioculturales.

Resulta claro que la vulnerabilidad es socialmente construida en un contexto particular. Es una consecuencia de procesos históricos, políticos y culturales (Braudel, 1969; García Acosta, 2005) y de los patrones de distribución del ingreso, inversiones, concentración del poder y transformaciones ambientales. Los modelos PAR (*pressure and release*) de Blaikie, Cannon, Davis y Wisner muestran que los desastres son la intersección de dos fuerzas opuestas, aquellas que generan vulnerabilidad por un lado y la exposición física por el otro (Blaikie *et al.*, 1996). Desde la década de 1970, los enfoques de la ecología política (Cuny,

1983; Wijkman y Timberlake, 1984) conectan la vulnerabilidad con la inequidad en proyectos de desarrollo. Cuny (1983) plantea que los desastres acentúan las luchas sociales en una sociedad y enfatiza las injusticias inherentes en un sistema político.

En este sentido, cuando se busca incorporar el riesgo a los planes de ordenamiento, aunque se reconoce la importancia de los procesos mencionados, se debe reconocer su existencia como un hecho cumplido y operar desde allí. Razón por la cual se hace énfasis en la exposición como condicionante físico de vulnerabilidad, más que en los procesos que llevaron a la materialización de esta exposición.

Lo realmente relevante sería pensar en cómo construir sociedades capaces de enfrentarse a situaciones potenciales de riesgo, mediante la intervención de alguno de los componentes que generan esas condiciones. En tal sentido, la intervención de vulnerabilidad, en el sentido global definido por Wilches-Cháux, mediante campañas multidisciplinarias, resulta un camino pertinente. De otro lado, al reconocer que buena parte de las condiciones de riesgo se derivan de la exposición en lugares inadecuados y sin criterios adecuados, el ordenamiento se constituye en la herramienta básica para pensar el territorio y todo su proceso de ocupación y planear estrategias a corto, mediano y largo plazo, cuyo objetivo sea la configuración de escenarios óptimos para sus habitantes, en términos de seguridad y calidad de vida.

Referencias

- Albala-Bertrand, J. M. (1993). *Political Economy of Large Natural Disasters with Special Reference to Developing Countries*. Oxford: Clarendon Press.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*. Bogotá: LA RED / ITDG. Recuperado de: http://www.desenredando.org/public/libros/1996/vesped/vesped-todo_sep-09-2002.pdf
- British Geological Survey. (1995). *Project Summary Report: Rapid Methods of Landslide Hazard Mapping. Technical Report WC/95/30*. Nottingham, Reino Unido: BGS. Keyworth.
- Braudel, F. (1969). *Histoire et sciences sociales. La longue durée*. In: *Écrits sur l'histoire*. Paris: Brand y Hudson.

- Bronfenbrenner, U. (1979). *The Ecology of Human Development: Experiments by Nature and Design*. Massachusetts, Estados Unidos: Harvard University Press.
- Cannon, T. (1993). Vulnerability Analysis and the Explanation of Natural Hazards. En Varley, A. (1994). *Disasters Development and Environment*. Chichester, Reino Unido: Wiley.
- Cardona, O. D., Hurtado, J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A. C., Velásquez, L. S. y Prieto, S. D. (2003). *La Noción del Riesgo desde la Perspectiva de los Desastres: Marco Conceptual para su Gestión Integral*. Manizales, Colombia: BID/IDEA Programa de Información e Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://idea.unalmz.edu.co>
- Cuny, F. C. (1983). *Disaster and Development*. Estados Unidos: Oxford University press.
- University of Wisconsin. (1997). *Disasters and Development. Study Guide and Course Text for C280-DD02*. United States: Board of Regents of the University of Wisconsin System.
- Chardon, A. C. (2002). *Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales. El ejemplo andino de Manizales, Colombia*. Manizales, Colombia: Editorial Centro de Publicaciones, Universidad Nacional de Colombia.
- García Acosta, V. (coord.). (2005). *La construcción social de riesgos y el huracán Paulina*. México: Ediciones de la Casa Chata, CIESAS.
- Hewitt, K. (1997). *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters*. Essex, Reino Unido: Logman.
- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2009). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Ginebra, Suiza: ISDR.
- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). (2010). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Modelación Probabilista de Riesgos Naturales a Nivel Global. Fase 1A. Desarrollo Metodológico e Implementación de Casos Demostrativos. ERN Evaluación de Riesgos Naturales América Latina*. Ginebra, Suiza: ISDR.
- Lavell, A. (1993). Ciencias sociales y desastres naturales en América Latina: un encuentro inconcluso. En: Maskrey, A. (comp.). *Los desastres no son naturales*. Bogotá: La Red, ITDC, Tercer Mundo Editores.

- Lavell, A. (2000). *Draft. Annotated. Guidelines for Inter-Agency Collaboration in Programming for Disaster*. Ginebra, Suiza: ISDR.
- Lavell, A. (1996). Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. En: Fernández, M. A. *Ciudades en Riesgo*. Bogotá: La Red.
- Luhmann, N. (1993). *Risk: A sociological theory*. New York: Aldine de Gruyter.
- Mansilla, E. (2000). *Riesgo y Ciudad*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. División de Estudios de Postgrado.
- O'Keefe, P., Westgate, K. & Wisner, B. (1976). Taking the naturalness out of natural disasters. *Nature*. 260, pp. 566-567.
- UN-HÁBITAT. (1996). *Un mundo en proceso de urbanización: informe mundial sobre los asentamientos humanos*. Bogotá: Tercer Mundo/Inurbe/FNA.
- Wijkman, A. & Timberlake, L. (1984). *Natural Disasters; Acts of God or Acts of Man?* Londres, Reino Unido: International Institute for Environment and Development.
- Wilches-Cháux, G. (1995). *Desastres y el Medio Ambiente*. Segunda edición. Programa de Entrenamiento para el Manejo de los Desastres (DMTP). Recuperado de: [http://www.ingenieroambiental.com/4019/\(68%20pag%20\)%20onu%20desastres_y_el_medio_ambiente.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4019/(68%20pag%20)%20onu%20desastres_y_el_medio_ambiente.pdf)
- Wilches-Cháux, G. (1993). La Vulnerabilidad Global. En: Maskrey, A. (comp.). *Los Desastres no son naturales*. Bogotá: La Red, ITDC, Tercer Mundo Editores.



CARACTERÍSTICA HIDROGEOLÓGICA Y GEOLÓGICA DEL ACUÍFERO EN EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ

Efraín Casadiego Quintero¹

¹ Geólogo, M. Sc., Docente de tiempo completo de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia - Uniagraria.

Resumen

El aumento de la población y el consumo de agua de los acuíferos en el sector de Puerto Boyacá generan incertidumbre sobre los procesos que alimentan las aguas subterráneas y superficiales. En este capítulo, se describirán algunos de esos procesos y la relación geología-hidrogeología. El acuífero de esta área es conocido como “Acuífero de la Formación Mesa” y está caracterizado por las areniscas de buena porosidad y la eficiencia de los poros, en este se pueden encontrar los tres tipos de acuíferos libres, semiconfinados y confinados. En los meses de abril, mayo, octubre y noviembre tienen las mayores precipitaciones, y estos son los momentos donde más se saturan los suelos. Según los parámetros hidrogeológicos encontrados en la bibliografía y los parámetros calculados del acuífero mesa de Puerto Boyacá, este es moderadamente a bien difusivo por su transmisividad alta con respecto al agua almacenada.

Introducción

El sistema del acuífero “Valle Medio del Magdalena” (SAVMM) es uno de los acuíferos más extensos en el occidente de Boyacá, dentro de este sistema de acuífero se encuentra el municipio de Puerto Boyacá, importante por su cercanía al río Magdalena. La unidad de acuífero SAVMM tiene un área aproximada de 14.913 km², desde el sur del César hasta La Dorada, aproximadamente, y en el área de Puerto Boyacá es de 900 km², aprox.

En el municipio de Puerto Boyacá se encuentra la formación mesa, siendo esta la unidad hidrogeológica del área. La formación tiene unos 300 metros de espesor en promedio, pero localmente este espesor puede ser mayor o menor. La subdivisión estratigráfica de la formación mesa son arenitas feldespáticas y líticas, intercaladas con arcillolitas y conglomerados de abundantes líticos. El área de Puerto Boyacá presenta unidades hidrogeológicas libres, semiconfinadas y

confinadas en toda su extensión. Esas unidades coinciden con la litoestratigrafía de la formación mesa, los canales y tributarios de la zona.

Los acuíferos que se encuentran en Puerto Boyacá son considerados como buenos acuíferos con variaciones, según la intensidad de las precipitaciones, la cual varía de acuerdo a la época del año.

Metodología

La metodología fue preparar una exhaustiva base de datos del área de estudio para integrar los datos colectados durante el trabajo de campo. Los datos recolectados incluyen información hidrogeológica en relación a la geología del área y un análisis de las imágenes satelitales de Google Earth, donde se revisó la elevación y las fuentes hídricas de aporte.

La revisión bibliográfica incluye la geología local y regional, y la evolución tectónica y estratigráfica. También se revisó la información hidrogeológica de las entidades gubernamentales y ambientales privadas, se buscaron los parámetros básicos del acuífero como la conductividad hidráulica y se hicieron los cálculos con la información recolectada.

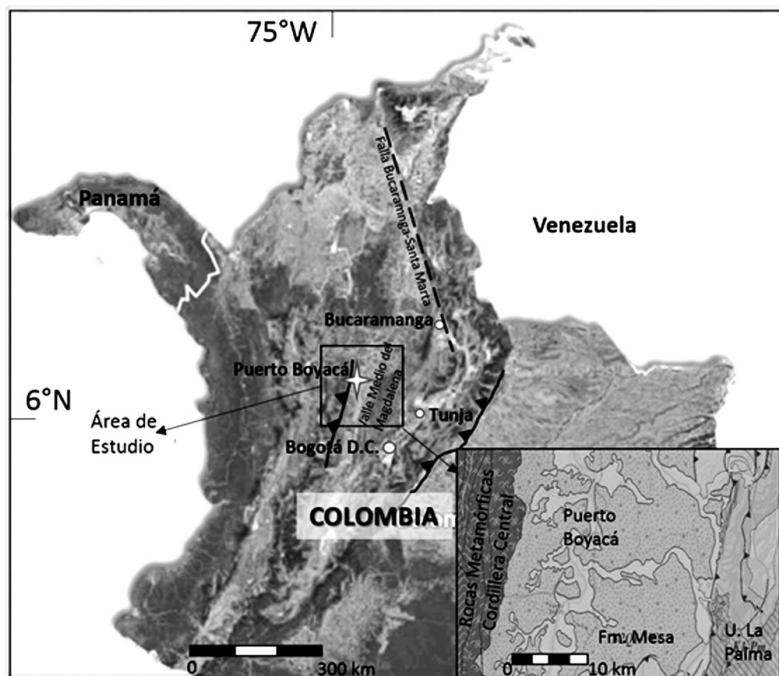
Geología Puerto Boyacá

La geología del municipio de Puerto Boyacá se caracteriza por sedimentos modernos depositados por el río Magdalena y los tributarios que han transportado sedimentos desde la cordillera oriental, de formaciones del Cretáceo Superior, como la unidad La Palma. También se encuentran rocas sedimentarias del Neógeno Superior y del principio del Cuaternario como la formación mesa.

La parte inferior de la Formación Mesa es considerada por De Porta (1966), de edad Plioceno Inferior y Pleistoceno en la parte superior. El mismo autor propone una sección de referencia desde el municipio de Mariquita hasta el Cerro Lumbi. Según los reconocimientos que se han hecho en campo, la formación mesa aflora al noroccidente del departamento de Boyacá.

En el área de estudio de Puerto Boyacá se observa la formación mesa, caracterizada por gravas y arenas con intercalaciones de limo y arcillas. Este material gravoso está compuesto por cantos de cuarzo de origen hidrotermal, fragmentos de rocas sedimentarias tipo *chert*, lutitas provenientes de la cordillera

Figura 1. Mapa de localización del estudio (geología del área), modificado de Google Maps y del Servicio Colombiano de Geología



Fuente: modificado de Plancha H12 del Servicio Geológico.

oriental y rocas metamórficas y volcánicas provenientes probablemente de la cordillera central. La geomorfología donde se encuentra esta formación es conformada por planicies de inundación extensivas y llanuras de baja pendiente.

Formación mesa

La parte inferior de la Formación Mesa es considerada por De Porta (1966), de edad Plioceno Inferior y Pleistoceno en la parte superior. El mismo autor propone una sección de referencia desde el municipio de Mariquita hasta el Cerro Lumbi. Según los reconocimientos que se han hecho en campo, la formación mesa aflora al noroccidente del departamento de Boyacá.

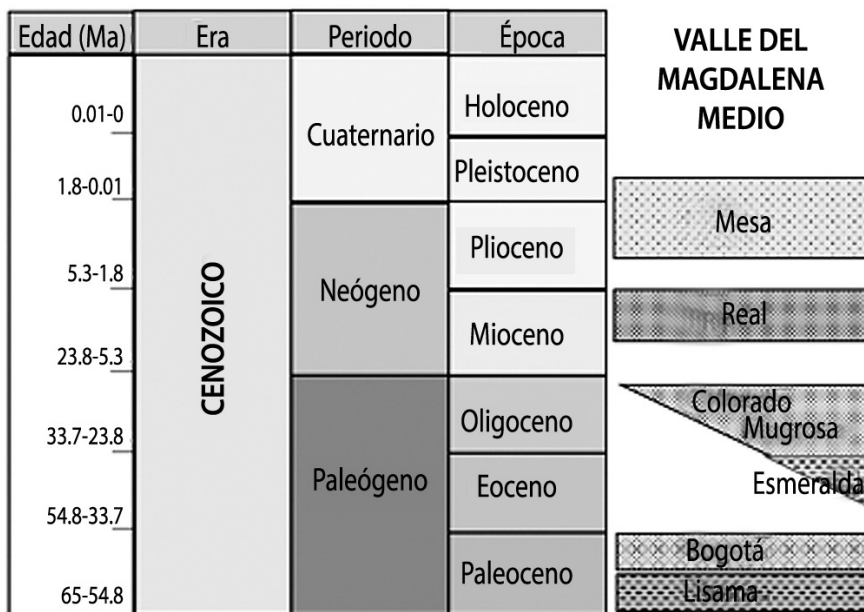
En el área de estudio de Puerto Boyacá se observa la formación mesa, caracterizada por gravas y arenas con intercalaciones de limo y arcillas. Este material gravoso está compuesto por cantos de cuarzo de origen hidrotermal,

fragmentos de rocas sedimentarias tipo chert, lutitas provenientes de la cordillera oriental y rocas metamórficas y volcánicas provenientes probablemente de la cordillera central. La geomorfología donde se encuentra esta formación es conformada por planicies de inundación extensivas y llanuras de baja pendiente.

Unidad litoestratigráfica La Palma

La unidad litoestratigráfica se describe del Cretácico Superior, se encuentra al oriente de los acuíferos de Puerto Boyacá y está conformada, según Rodríguez y Ulloa (1994a), por intercalaciones de limolitas, lutitas y arcillolitas grises, de claras a negras. Su geomorfología es de laderas de moderada a alta, de pendiente con valles en forma de V que forman escarpes redondeados, en donde se generan cambios de pendiente entre el contacto de la unidad litoestratigráfica La Palma y la formación mesa, con depósitos aluviales al pie de la ladera.

Figura 2. Sección estratigráfica del Valle Medio del Magdalena. Escala de tiempo geológico del Cenozoico, modificada de Gradstein y Ogg (1996)



Fuente: elaboración propia.

Evolución estructural

La zona donde se ubica hoy la cuenca hidrográfica de Puerto Boyacá ha sufrido varios cambios de geología estructural durante más de 200 millones de años, como los cambios sucesivos de levantamientos orogénicos y subsidencias. Según Rodríguez y Solano (2000), durante el Paleozoico Inferior, la zona de estudio se encontraba por debajo de aguas oceánicas, en la cual se depositaron sedimentos marinos antes del posterior levantamiento orogénico, el cual plegó y fracturó las rocas del Cámbrico al Silúrico. Durante el momento del levantamiento orogénico también se generaron diversos eventos intrusivos en la cordillera oriental.

A finales del Paleozoico Inferior, la zona de Puerto Boyacá fue un área continental emergida en la cual se depositaron aguas de transgresión oceánica y material fino arenoso de poca profundidad. Durante el Cretácico, la formación de un rift hace que el mar vuelva a cubrir el área, al depositar sedimentos detríticos finos, lutitas de macanal y gruesos areniscas de las juntas. El material detrítico erosionado, transportado y depositado en la cuenca Cretácica fue obtenido de rocas metamórficas y eruptivas de escudo de la Guayana y rocas más antiguas.

Las fallas geológicas al sur limitan con el Valle Medio del Magdalena, controlando la sedimentación de las erosión superficial y orogenia en el Cretáceo Inferior, según Cooper *et al.* (1995). Así, se formó otro sistema de fallas durante el Paleoceno, en una estructura transpresiva (Montes, 2001; Cortes *et al.*, 2005; Casadiego-Quintero y Ríos-Reyes, 2016). Al inicio del Paleógeno, empezaron a generarse superficies irregulares, donde algunas áreas de baja elevación recibieron aportes deltaicos, pantanosos y algunas áreas iniciaron una sedimentación de tipo fluvial (Rodríguez y Solano, 2000).

Suelos y ecosistemas

El suelo de la región se encuentra cubierto, principalmente, de rocas ígneas (dioritas, cuarzo dioritas, granito y granodioritas), rocas sedimentarias (areniscas, lutitas y arcillolitas) y rocas metamórficas (neis, esquistos y filitas); la cobertura vegetal en algunas zonas es poca y en otras se encuentra en áreas arbustivas y arbóreas, como extensas llanuras para producción agropecuaria, ganado bovino y de búfalos. El paisaje es de planicie aluvial, como el del río Magdalena, con variación hacia el este; el paisaje entonces se vuelve montañoso, de piedemonte

con valles y algunas lomas que sobresalen. Los tributarios generan planicies de inundación en algunos sectores de forma periódica, al generar suelos *typic fluvaquentic endoaquepts* y *typic tropofluvents*, los cuales disminuyen la posibilidad de una buena producción agrícola (ANLA, 2016). Las pendientes varían desde suaves a moderadas en los valles y de moderadas a altas en el piedemonte oriental.

Modelo general del acuífero

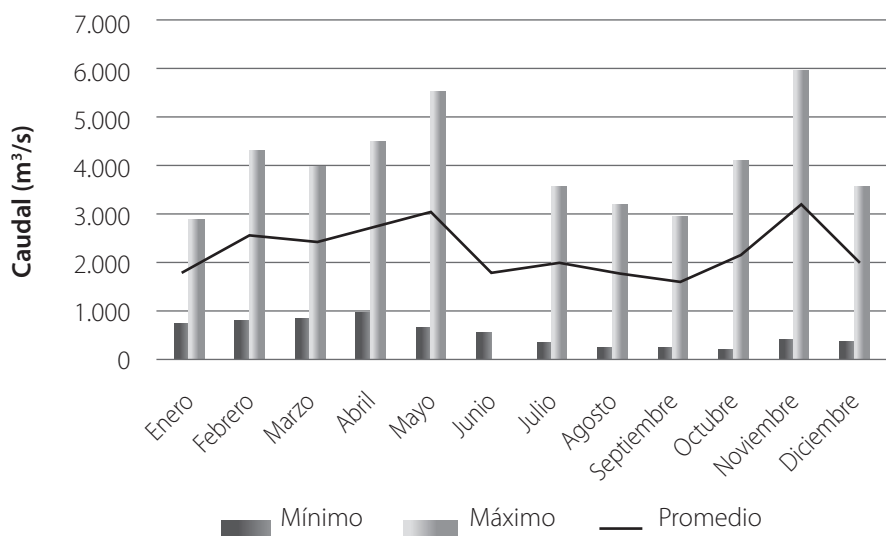
El municipio Puerto Boyacá se encuentra dentro del acuífero mesa, de la provincia hidrogeológica del Valle Medio del Magdalena, en una zona de concordancia de los vientos alisios y la zona de convergencia intertropical, logrando que la humedad relativa disminuya y alcance un mínimo valor en febrero, igual que las máximas temperaturas en el mismo mes. El área se encuentra clasificada como de inundación lenta por la baja velocidad para inundarse, la cual es mayor de 20 años de retorno (Ideam, 2015).

El acuífero de la mesa es alimentado por las lluvias, aguas de escorrentía de los diferentes tributarios intermitentes y principalmente por el río Magdalena. Este último tiene un comportamiento bimodal, siendo febrero, abril, mayo, octubre y noviembre los más húmedos y el más seco enero (figura 3). En promedio, el caudal varía de 2.000 a 3.000 m³/s, y este se utiliza para consumo humano y riego, según *The Nature Conservancy* (TNC) (2013).

La precipitación del Municipio de Puerto Boyacá, según información recopilada por el IDEAM de 1981 a 2010, es de una mínima cercana 0 mm/mes y cercana a 130 mm/mes, siendo los meses de enero, julio y agosto los de menor precipitación; y abril, mayo, octubre y noviembre los de mayor precipitación; marzo, junio, septiembre y diciembre tienen una precipitación moderada y los meses restantes una precipitación de moderada a baja (ver tabla 1 y figura 4). También, en la figura 4 se observa la relación de la variación de la intensidad de las precipitaciones y los días de lluvia por mes, donde abril, mayo, octubre y noviembre pueden tener entre 16 a 18 días de lluvia por mes; enero y febrero entre 6 y 9 días de lluvias por mes; y los meses restantes entre 10 y 12 días de lluvia. El clima del municipio de Puerto Boyacá está clasificado como tropical de variación cálido semihumedo. Hay precipitaciones durante todo el año en la zona y hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. Esta ubicación está clasificada

como Af por Köppen y Geiger. En Puerto Boyacá, la temperatura media anual es de 27,7 °C, temperatura media mayor a 26 °; mientras que febrero, julio y agosto son los meses más cálidos con un promedio de 28 °.

Figura 3. Caudales del río Magdalena



Fuente: modificado de TNC, 2013.

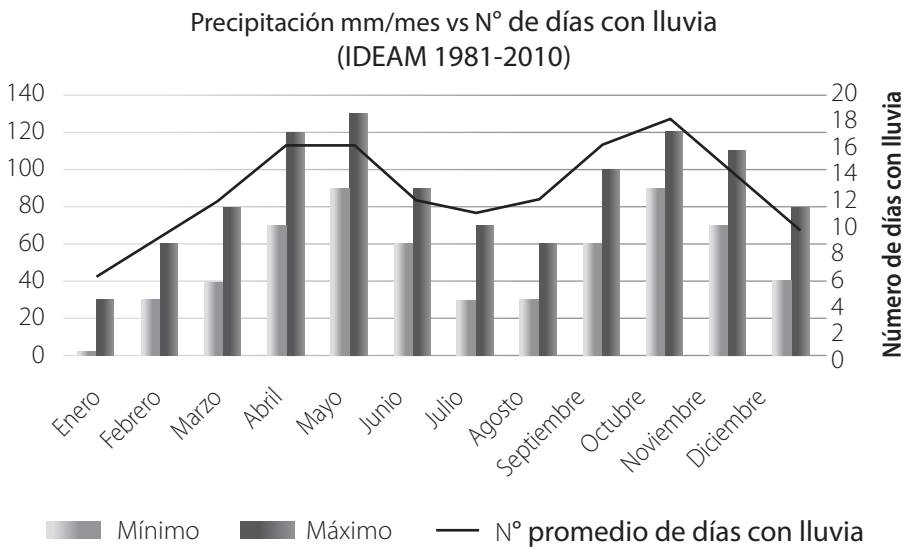
Tabla 1. . Variación de precipitaciones en relación al promedio de días con lluvia

Precipitación mm/mes (IDEAM)	Mínima	Máxima	N° promedio de días con lluvia
Enero	0	30	6
Febrero	30	60	9
Marzo	40	80	12
Abril	70	120	16
Mayo	90	130	16
Junio	60	90	12
Julio	30	70	11
Agosto	30	60	12
Septiembre	60	100	16
Octubre	90	120	18
Noviembre	70	110	14
Diciembre	40	80	10

Fuente: modificado de Ideam

En la zona de estudio se pueden generar entre 100 y 150 días con lluvias al sur de la cuenca y entre 150 y 200 días con lluvias al norte de la cuenca.

Figura 4. Curvas de precipitaciones en relación al promedio de días con lluvia



Fuente: modificado de TNC, 2013.

Estructuras del acuífero en Puerto Boyacá

El municipio de Puerto Boyacá presenta tres estructuras de acuíferos por su variación litológica y geomorfológica. A continuación mencionarán cada uno de los tipos acuíferos encontrados:

- **Acuífero libre en PB**

Este tipo de acuífero se observa principalmente al este del municipio de Puerto Boyacá, donde se localizan la mayoría de tributarios y hacia el norte donde se encuentra la ciénaga Palagua, al oeste el río Magdalena puede llegar a formar, en temporada de subida de nivel base, llanuras de inundación sobre suelos limo arenosos. Algunos tributarios o canales aparecen en época de aumento de lluvias, principalmente los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, generando un acuífero libre intermitente. Este tipo de acuífero se genera en pendientes suaves con pastizales al entrar en contacto el nivel freático con la superficie del terreno (Villarroya, 2009).

• **Acuíferos Confinados y Semiconfinados en PB**

Los acuíferos confinados en Puerto Boyacá se encuentran a algunos metros de profundidad, en pendientes de bajas a moderadas, donde las arenas y las gravas de la formación mesa se encuentran suprayaciendo e infrayaciendo las arcillas y lutitas impermeables; vale destacar que la carga generada sobre las arenas y gravas genera una presión intersticial. Mientras que los acuíferos confinados se localizan alrededor de Puerto Boyacá, en las zonas donde los suelos arcillosos se encuentran sobre la formación mesa.

Los acuíferos semiconfinados se encuentra donde aflora la formación mesa, en la cual se encuentran arenitas feldespáticas y conglomerados intercalada con arcillolitas. La formación mesa se encuentra en toda la zona de Puerto Boyacá, donde aflora en algunos sectores y se encuentran leves levantamientos del suelo.

Aguas subterráneas en el municipio de Puerto Boyacá

El municipio de Puerto Boyacá tiene niveles freáticos poco profundos, siendo una región que excede en aguas subterráneas. Así, las aguas de inundación durante la época de inundaciones y las recargas que provienen de los drenajes de la cordillera oriental llenan los acuíferos.

Los principales acuíferos son las areniscas de la formación mesa y los aluviones. Se destaca que la formación mesa es un acuífero semipermeable con buena conductividad hidráulica con variaciones de su porosidad eficaz por su anisotropía con una clasificación hidrológica de buen acuífero (Custodio y Llamas, 1982) con un espesor que puede llegar a los 350 m con acuñamiento hacia el este (Ingeominas, 2000).

Los contornos de trasmisividad (T) oscilan entre 150 y 280 m²/d, con una calificación de media a alta con una posibilidad de acuífero entre 10 y 50 l/s con 10 metros de depresión (Villarroya, 2009) y estos cuentan con una conductividad hidráulica (k) de 5 a 12 m/d.

El espesor saturado (b) del acuífero varía de 23 a 30 m y el coeficiente de almacenamiento (S) puede estar cercano a 1×10^{-4} m³, siendo este el volumen de agua que puede liberar un área de un acuífero (Iglesias, 1984; Anderson y Woessner, 2002), por último se destaca que el coeficiente de almacenamiento específico (S^*) es de $3,3 \times 10^{-3}$ litros. Esto quiere decir que si el acuífero mesa tuviera 300 km² de extensión y $S = 1 \times 10^{-4}$ m³, y si indica que si se deprime el

nivel piezométrico 1 m, se habrán extraído del acuífero 30.000 m³. La difusividad hidráulica (D) para las zonas saturadas puede ser de 150×10^4 m²/d con un tiempo de almacenamiento de 40 a 50 días (Hall, 1968; Tallaksen, 1995). La difusividad es un parámetro que indica la sensibilidad del acuífero ante una acción exterior como el bombeo de pozo.

Conclusiones

Las aguas subterráneas de las areniscas de la Formación Mesa prevalecen en la Unidad Hidrogeológica de la Formación Mesa, debido a su buena porosidad y eficiencia de los poros. En algunos sectores, se observa percolación de lluvias en las temporadas de alta precipitación de los meses de abril, mayo, octubre y noviembre, principalmente.

Los acuíferos libres o no confinados se encuentran en los tributarios, al este del municipio de Puerto Boyacá, algunos intermitentes por su aparición en las épocas de lluvia y disminución por la explotación para riego o consumo humano. Los acuíferos semiconfinados y confinados están asociados a la litoestratigrafía de la formación mesa, por la intercalación de las arenitas feldespáticas y las arcillolitas, el periodo de precipitación del año y la altura del nivel freático.

Según los parámetros hidrogeológicos encontrados en la bibliografía y los parámetros calculados, se puede concluir que el acuífero mesa de Puerto Boyacá es de moderadamente a bien difusivo, debido a que la transmisividad (T) es alta con respecto al agua almacenada (S). En consecuencia, los embudos de bombeo son de una moderada base y de corta profundidad.

Bibliografía

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2016). *Reporte zona sur cuenca Valle Medio Magdalena*. Bogotá: Subdirección de Instrumentos, Permisos y Trámites Ambientales.
- Anderson, M. & Woessner, W. (2002). *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport*. Londres: Academic Press.
- Casadiago-Quintero, E. y Ríos-Reyes, C. A. (2016). Lithofacies analysis and depositional environment of the Galembó Member of la Luna Formation. En *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*. 6 (4), pp. 37-56.

- Cortés, M., Angelier, J. & Colletta, B. (2005). Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): implications on plate kinematics of the South Caribbean region. *Tectonics*, 24 (1). Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003TC001551/pdf>
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (1983) *Hidrología subterránea*. Barcelona, España: Editorial Omega.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.
- Iglesias, A. (1984). Diseño de un modelo para el estudio de descargas de acuíferos. Modelo Meda. *Boletín Geológico y Minero (IGME)*, Tomo 95. Fascículo 1.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G., 1996. A Phanerozoic time scale. *Journal Episodes*, 9 (1-2), pp. 3–5.
- Hall, F. R. (1968). Base-flow recessions - A review. En *Water Resources Research*, 4(5), pp. 973-983.
- Montes, C. (2001). Three dimensional structure and kinematics of the Piedras-Girardot fold-belt in the northern Andes of Colombia. (Ph. D. Thesis). The University of Knoxville, Tennessee, Estados Unidos.
- Rodríguez, E. y Ulloa, C. (1976). *Geología del Cuadrángulo K-12: Guateque. Informe No. 1701*. Bogotá: Ingeominas.
- Rodríguez, J. A. y Solano, O. (2000). *Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. Memoria explicativa*. Bogotá: Ingeominas.
- Tallaksen, L. M. (1995). A review of baseflow recession analysis. En *Journal of Hydrology*. 165, pp. 349-370.
- The Nature Conservancy (TNC). (2013). *Vision and Mission, The Nature Conservancy, Arlington, VA*. Recuperado de: <https://www.nature.org/about-us/vision-mission/index.htm>
- Villarroya, F. (2009). *Jornadas Técnicas Sobre Aprovechamiento de Aguas Subterráneas para Riego. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos*. España: Universidad Complutense.



UN ENFOQUE GEOMÉTRICO PARA LA MODELACIÓN DE LA HETEROGENEIDAD EN ESTRUCTURAS Y PROCESOS FÍSICOS EN FUENTES DE AGUA

Víctor Manuel Peñaranda Vélez¹
Edgar Ricardo Monroy Vargas²

¹ Ph. D (c) y M. Sc. de la Universidad Nacional de Colombia.

² Ph. D. Docente Investigador Universidad Católica de Colombia.

Ante un crecimiento poblacional en progreso, se da por sentada la necesidad de explorar y aprovechar fuentes de abastecimiento de agua, alternas a las tradicionales fuentes de agua superficial. En Colombia, la explotación del agua se inició hace varios años atrás y tanto las corporaciones autónomas regionales como algunos grupos privados se han encargado de la regulación de este recurso. No obstante, se ha evidenciado en la práctica profesional que las técnicas empleadas para la exploración, el análisis y la modelación del recurso hídrico no se efectúa de forma ajustada, conforme a las complejidades que proceden del entendimiento de los procesos físicos que participan en la dinámica del flujo de agua, ya sea superficial o subterránea.

Los fenómenos asociados al flujo y el transporte de solutos en fuentes de agua se ven influenciados por un gran número de factores, entre los cuales se destaca la heterogeneidad del medio poroso y las complejidades de las interacciones entre los flujos de agua superficial y subterránea (Sivakumar, Han & Woldemeskel, 2016). Como resultado de la intrínseca estructura que conforma el flujo y el transporte de agua, emergen patrones espaciales muy complejos que no pueden ser divisados con claridad y que dificultan la toma de decisiones en torno al modo de aprovechamiento del recurso y su preservación.

Frente a la dificultad por entender mejor las propiedades físicas de sistemas complejos como son las fuentes de agua, se han generado nuevas técnicas y avances en la inspección de patrones geofísicos asociados. Entre los resultados más interesantes que vale la pena resaltar, están las relaciones entre las escalas espaciales y temporales del medio que transporta el agua. Estas propiedades de escalamiento representan el grado de dependencia de las propiedades físicas o mecánicas del sistema de estudio sobre un amplio rango de escalas en las cuales interaccionan. A partir de los primeros estudios de las propiedades de escalamiento, han resultado importantes constantes adimensionales que relacionan las fuerzas que actúan sobre un fluido (e.g. el número de Reynolds que relaciona las fuerzas viscosas y las fuerzas inerciales, el número de capilaridad

que relaciona las fuerzas viscosas y las de tensión superficial en un medio poroso, el número de Bond que relaciona las fuerzas de boyancia (o flotabilidad) y capilaridad, etc.). Otra perspectiva de las propiedades de escalamiento puede ser visto a través del estudio de las propiedades geométricas del patrón geofísico. En este caso, el interés estaría en comprender cómo cambia un objeto desde diferentes escalas de observación, si las propiedades de este objeto de estudio no presentan cambios en la escala, por lo que quizás se esté tratando con un objeto fractal.

Los objetos fractales son definidos como simetrías en evolución, al considerar que ellos son autosemejantes, o bien, invariantes en las escalas en las cuales son observados. La naturaleza física de estos objetos fractales y el cómo se constituyen en los procesos geofísicos (y específicamente en el flujo y transporte de agua subterránea) es hoy por hoy un tema de basta investigación; sin embargo, algunos estudios determinan que puede existir un mecanismo semejante al observado en el estudio de las transiciones de fase para explicar las propiedades de escalamiento de estos patrones geofísicos (Hunt y Ewing, 2017; Hunt, 2001). La aplicación de las transiciones de fase dentro de este contexto ofrece un grupo de herramientas innovadoras que ayudan a: (i) explicar cómo se establece el flujo preferencial sobre un medio poroso, ii) entender cómo resultan algunas de las interacciones entre las escalas del proceso físico el observado, y iii) ofrecer información sobre la organización espaciotemporal de estructuras fractales encontradas en la teoría general del flujo de agua.

Es importante destacar que ante un limitado conocimiento de las propiedades del medio de flujo de agua y sus interacciones, el desarrollo y la aplicación de modelos con resultados de buena precisión es una tarea muy difícil. En los modelos determinísticos convencionales se busca caracterizar las propiedades hidráulicas del medio poroso (e.g. conductividad, porosidad, contenido de agua, etc.), las cuales son modeladas considerando que el medio poroso puede ser representado por un sistema homogéneo dentro de un determinado rango espacial. Los modelos estocásticos, por su parte, representan mejor la heterogeneidad del medio, sin embargo, se adoptan criterios estadísticos que simplifican la complejidad matemática del modelo, pero que no necesariamente guardan relación directa con las propiedades físicas del medio (e.g. estacionariedad, ergodicidad, normalidad, etc). Otros modelos de naturaleza determinística o estocástica que se apoyan en la teoría fractal, son aproximaciones

matemáticas más eficientes y eficaces para explicar la heterogeneidad intrínseca del medio poroso y sobre cómo son las interacciones entre las propiedades del medio poroso y del flujo a través de él.

A diferencia de otros modelos, estos tienen un menor número de parámetros involucrados en su estructura y preservan varias de las propiedades geométricas de los patrones observados (e.g. Neuman, 1990; Molz *et al.*, 1997; Coulibaly *et al.*, 2001; Hunt, 2001; Puente *et al.*, 2001 y Sivakumar *et al.*, 2005, entre otros). En esta sección del libro se introducirá a los lectores en algunos de los modelos que hacen parte de la última categoría anteriormente indicada. El propósito es expandir el kit de herramientas de quienes enfrentan problemas de modelación y análisis en la ingeniería hidráulica.

Aproximación fractal - multifractal

Los conceptos de fractales y multifractales fueron introducidos formalmente por Mandelbrot (1982, 1988) para explicar el comportamiento de formas geométricas complejas. Los fractales son definidos como patrones geométricos que se repiten a sí mismos sobre un amplio rango de escalas (auto semejanza) y sus propiedades de escalamiento, normalmente, son representadas a través de leyes de potencias.

Por otra parte, los multifractales son también objetos geométricos que estadísticamente presentan propiedades de auto semejanza, pero sus propiedades solo pueden ser descritas a través de un conjunto de leyes de potencias (Perfect *et al.*, 2009). Tanto los fractales como los multifractales son empleados para la descripción de la heterogeneidad de sistemas físicos y han resultado ser muy útiles en múltiples aplicaciones relacionadas con el estudio de medios porosos (Pachepsky *et al.*, 2006; Puente *et al.*, 2001; Perfect y Kay, 1995; Folorunso *et al.*, 1994; Pfeifer *et al.*, 1983).

Entre los modelos existentes que emplean conceptos de la teoría fractal y multifractal, se destaca la aproximación "Fractal – Multifractal (FM)". Este modelo fue introducido por Puente (1996) y Puente & Obregon (1996) para el estudio y la descripción determinística de los campos de precipitación, pero su aplicación se ha extendido al análisis de transporte de solutos en medios porosos (Puente *et al.*, 2001). En la aproximación FM, los observables son construidos a través de proyecciones de una medida multifractal, la cual reside en el espacio geométrico

de una función de interpolación fractal (FIF). Las funciones de interpolación fueron unas de las innovaciones de la teoría fractal presentadas por Barnsley (1993) como un ejemplo de aplicación de los sistemas iterados de funciones (SIF); sin embargo, Puente (1996) desarrolló la idea de Barnsley al explorar el comportamiento de la distribución estadística de los puntos que construyen la FIF, para obtener una aplicación de esta función en el campo de la geofísica.

Durante el proceso de construcción de las FIF en el plano \mathbb{R}^2 , se generan dos medidas estadísticas que resultan del conteo de las frecuencias relativas de las coordenadas x e y , correspondientes a los puntos por donde pasa la función de interpolación fractal. Dada la continuidad de la FIF, la medida encontrada en el eje y puede interpretarse como una proyección de la medida generada en el eje x mediante la FIF: $f_z(x) = y$. Esta interpretación es semejante al concepto de distribuciones derivadas de probabilidad que se emplea en ingeniería, para el análisis de las transformaciones algebraicas que operan en la distribución de datos aleatorios. Es importante tener en cuenta que, dependiendo de cómo estén localizados los puntos de la FIF en el plano \mathbb{R}^2 y sean definidos los parámetros del modelo, las medidas derivadas tendrán propiedades multifractales y podrían ser denominadas como tal.

Para una representación unidimensional de medidas derivadas con el modelo FM, se requiere que las FIF estén definidas para un conjunto de $N+1$ puntos en el plano \mathbb{R}^2 e, igualmente, para un conjunto de N mapas afines contráctiles de la forma:

$$W_n \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_n & 0 \\ c_n & d_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_n \\ f_n \end{pmatrix} = A \cdot x + t \quad n = 1 \dots N$$

Las cuales están sujetas a las siguientes restricciones:

$$W_n \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{n-1} \\ y_{n-1} \end{pmatrix}, \quad W_n \begin{pmatrix} x_N \\ y_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} \quad 0 \leq d_n \leq 1$$

En este modelo, $\{a_n, c_n, d_n, e_n, f_n\}$ son los parámetros de la aproximación FM que pueden derivarse al tener en cuenta las restricciones; sin embargo, el parámetro d_n es un parámetro que está delimitado en el rango $[0,1]$ y debe ser definido por el usuario del modelo. Cuando se satisfacen estas condiciones, existe un único "punto fijo", es decir, la representación gráfica G de la función de interpolación $f: x \rightarrow y$, tal que $G = \{(x, f(x)) | x \in \mathbb{R}, y \in \mathbb{R}\}$, la cual es obtenida mediante iteraciones que satisfacen (Barnsley, 1993):

$$G = \bigcup_{n=1}^N W_n(G)$$

Si a los puntos obtenidos de los mapas afines se le aplica una rotación θ , se introduce un nuevo parámetro al modelo que logra aumentar el número de patrones y la complejidad de los mismos. La definición de proyección de medidas derivadas (multifractales) para diferentes valores del ángulo θ , puede entenderse como una transformación afín en el plano euclideo $W: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$. Siendo $W_n(x)$ la transformación de la FIF, entonces:

$$W_n(x) = A_n \cdot x + t_n$$

Donde,

$$A_n = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\text{sen}(\theta) \\ \text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_n & 0 \\ c_n & d_n \end{pmatrix}^T$$

Es una matriz que deforma el espacio relativo a través de rotaciones y contracciones. De igual forma, la aproximación FM se puede extender a un espacio \mathbb{R}^3 de forma análoga al planteamiento matemático empleado para un espacio \mathbb{R}^2 . Si se considera que las FIF están definidas para un conjunto de $N + 1$ puntos en \mathbb{R}^3 y para un conjunto de N mapas afines contráctiles de la forma, entonces:

$$W_n \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_n & 0 & 0 \\ c_n & d_n & h_n \\ k_n & l_n & m_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_n \\ f_n \\ g_n \end{pmatrix} = A \cdot x + t \quad n = 1$$

Con las restricciones:

$$W_n \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{n-1} \\ y_{n-1} \\ z_{n-1} \end{pmatrix}, \quad W_n \begin{pmatrix} x_N \\ y_N \\ z_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix}$$

Donde,

$$\psi = \begin{pmatrix} d_n & h_n \\ l_n & m_n \end{pmatrix}$$

Ello debe satisfacer que su norma espectral sea menor que uno; es decir, la raíz cuadrada del máximo valor propio del producto de la matriz ψ y su transpuesta ψ^T debe ser menor que uno

$$\|\psi\|_2 = \sqrt{\lambda_{\max}(\psi\psi^T)} < 1$$

Si se satisfacen las anteriores condiciones, resultará una única representación gráfica G de la función de interpolación, tal que $G = \{(x, y, f_z(x, y)) | x \in \mathbb{R}, y \in \mathbb{R}, z \in \mathbb{R}\}$, la cual es obtenida mediante iteraciones que satisfacen:

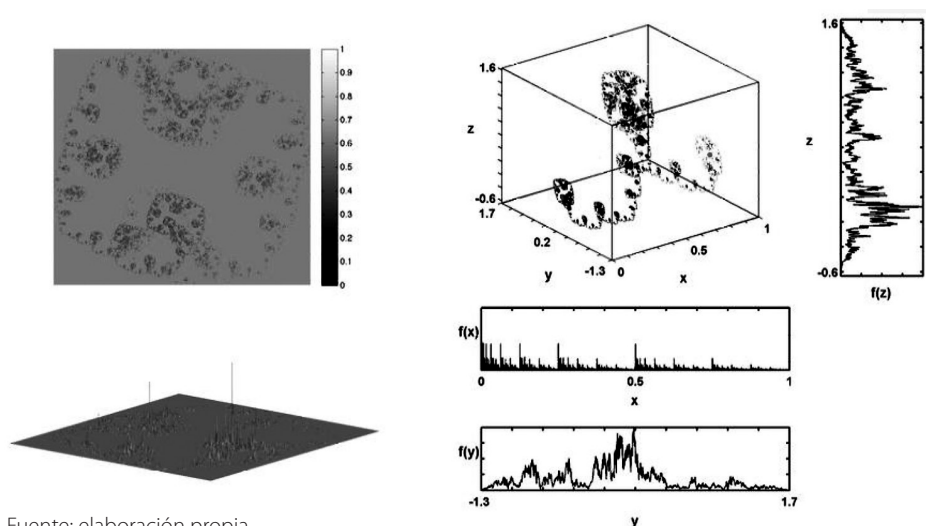
$$G = \bigcup_{n=1}^N W_n(G)$$

La construcción de la FIF se hace a partir de cuatro parámetros libres: $\{d_n, h_n, l_n, m_n\}$ y $N+1$ puntos conforman la estructura general de la función de interpolación fractal. Las medidas derivadas pueden ser transformadas al incluir el parámetro de rotación θ , el cual permite hacer la siguiente transformación a los parámetros libres:

$$A_n = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\text{sen}(\theta) \\ \text{sen}(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} d_n & h_n \\ l_n & m_n \end{pmatrix}^T$$

En el campo de las aplicaciones de la aproximación FM, en el campo de la hidrogeología, claramente este puede ser empleado para la descripción de formas o procesos que sean heterogéneos e intermitentes. En la ilustración que se presenta en la figura 1, se observa un campo generado de concentración de solutos, el cual preserva la estructura típica observada en un medio poroso heterogéneo. Aun cuando es tema de investigación, identificar la conexión de los parámetros del modelo con la estructura física del medio poroso, la sola producción de patrones complejos con la aproximación FM constituye una ventaja al modelador. El análisis de los parámetros del modelo y la caracterización de los mismos desde un punto de vista geométrico, permite acercarse más fácilmente al entendimiento de la dinámica no-lineal del proceso físico de estudio al reducir el número de factores que intervienen en ella y el manejo de complejas ecuaciones diferenciales parciales no-lineales que gobiernan el sistema.

Desde un punto de vista optimista, puede pensarse que bajo ciertas consideraciones particulares se puede lograr la predicción de futuros escenarios geofísicos, cuando se correlacionan las características de los parámetros del modelo con el tiempo y se crea un mecanismo evolutivo de la aproximación FM. Para un mayor detalle de estas ideas y de sus aplicaciones, se recomienda al lector revisar los trabajos efectuados por Puente (1996) y Puente *et al.* (2001).

Figura 1. Campo de concentración de solutos en un acuífero

Fuente: elaboración propia.

Figura 1. A la derecha de la figura se ilustra un campo de concentración de solutos en un acuífero (vista en planta y en perspectiva), generado con la aproximación FM con los parámetros: $\theta = 90^\circ$, $d_n = 0.5$, $h_n = 0.0$, $l_n = 0.0$, $m_n = 0.5$ y los puntos que conforman la FIF: $p_1 = \{0,0,0\}$, $p_2 = \{0.5,0.2,1\}$, $p_3 = \{1,0,0\}$. A la izquierda de la figura, en el recuadro que representa un espacio \mathbb{R}^3 , se observa la forma general de la FIF y a sus alrededores se muestran tres medidas multifractales $f_z(x) = f(x)$, $f_z(y) = f(y)$ y $f_{z(y)}(z) = f(z)$, las cuales resultan del proceso de construcción de la FIF y son proyecciones sobre los ejes principales del cuadrante geométrico en el que se suscribe la FIF.

Cascadas aleatorias multiplicativas

Gran parte de los modelos multifractales son construcciones matemáticas que buscan capturar la intermitencia y el comportamiento irregular de observables naturales. Las primeras aplicaciones nacen en el estudio de la turbulencia (e.g. Frisch & Parisi, 1985; Frisch, 1995) y de ella se desprenden las primeras ideas sobre la descripción de patrones basados en procesos multiplicativos. El concepto de procesos multiplicativos está basado en la idea de autosemejanza, e.g. cantidades físicas que se componen de sí mismas. En la construcción de cascadas multiplicativas, las medidas (multifractales) $M_n(x)$ tienen una densidad $\rho_n(x)$ definida por:

$$\rho_n(x) = \prod_{k=1}^n W_{(j_1, \dots, j_k)} x \in \Delta_n(j_1, \dots, j_k)$$

Donde $W_{(j_1, \dots, j_k)}$ son variables aleatorias positivas, independientes e idénticamente distribuidas. Al ser $W_{(j_1, \dots, j_k)}$ una variable aleatoria, el proceso multiplicativo adquiere ahora el nombre de cascada aleatoria multiplicativa.

Entre la variedad de modelos existentes de cascadas aleatorias multiplicativas se quiere resaltar aquí el trabajo desarrollado por Over y Gupta (1994), el cual se considera que tiene un amplio potencial para las aplicaciones en geofísica. En este modelo, las cascadas aleatorias son construidas por la subdivisión de un cubo d-dimensional $[0, L_0]^d$ en b sub-cubos. Para $d < 1$, se cumple que:

$$b = \prod_{i=1}^d b_i$$

Donde b_i representa el número de subdivisiones en cada paso de la i-ésima subdivisión de la cascada. El i-ésimo sub-cubo después de n subdivisiones se denota por Δ_n^i , y la longitud de uno de los lados del sub-cubo Δ_n^i en el nivel n representa la escala espacial y es denotada por L_n . Inicialmente, al cubo d-dimensional $[0, L_0]^d$ se le asigna una masa inicial $M_0 L_0^d$. A los sub-cubos de la primera sub-división Δ_1^i se le asigna la masa $\mu_1(\Delta_1^i) = M_0 L_0^d W_i^1 / b$ para $i = \{1, 2, \dots, b\}$. Aquí, W_i^1 es una variable aleatoria positiva e independiente y la distribución de probabilidad de W_i^1 representa el generador de la cascada. Al continuar con el proceso multiplicativo, para la subdivisión Δ_n^i de la cascada, se le asocia una masa $\mu_n(\Delta_n^i)$, definida por el producto entre la masa inicial $M_0 L_0^d$ y la productoria de todos los W_n que intervienen los sub-cubos de tamaño Δ_n^i , dividido por el número de sub-cubos b_n en el nivel n:

$$\mu_n(\Delta_n^i) = \frac{M_0 L_0^d}{b^n} \prod_{j=1}^n W_j^i$$

La masa límite $\mu_\infty(\Delta_n^i)$ se obtiene cuando $n \rightarrow \infty$, la cual satisface la ecuación recursiva:

$$\mu_\infty(\Delta_n^i) = \mu_n(\Delta_n^i) \frac{\mu_\infty([0, L_0]^d)}{R_0 L_0^d} = \mu_n(\Delta_n^i) Z_\infty(i) \quad i = \{1, 2, \dots\}$$

Donde $Z_\infty(i)$ es estadísticamente independiente de $\mu_n(\Delta_n^i)$ y representa en la estructura de la cascada aleatoria, un componente de alta frecuencia (e.g. elementos de pequeña escala). Por otro lado, $\mu_n(\Delta_n^i)$ representa el componente de baja frecuencia (e.g. elementos de gran escala) en la estructura general de

la cascada. En este modelo, se adopta que la masa sea conservada durante el proceso de construcción de la cascada (cascada canónica), por tanto, se espera que el valor medio del generador de la cascada sea igual a uno (e.g. $E[W] = 1$), lo que implica también que $E[Z_\infty] = 1$ (Over y Gupta, 1994).

La teoría de cascadas aleatorias puede ser empleada en el análisis del transporte de solutos en fuentes de agua, tal como se ilustró para la aproximación FM. En este caso de aplicación, se adoptarán los valores de $d = 2$ y $b = 4$, para el desarrollo de simulaciones, tal y como se muestra en la figura 2. A partir de los resultados de la simulación que se emplea como ilustración de estas ideas, es evidente que el modelo puede reproducir un alto grado de intermitencia espacial en las medidas de concentración de solutos, así mismo, la distribución de estos dentro de la región de análisis permite identificar una alta heterogeneidad del medio físico de estudio.

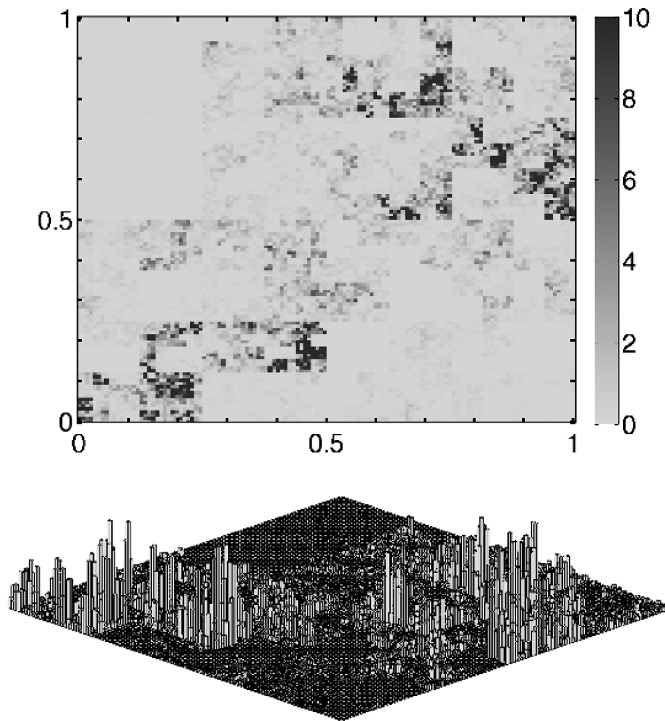
Notas finales

Las aplicaciones del formalismo multifractal, en el contexto de estudio de sistemas de acuíferos, han tenido una amplia apertura científica para caracterizar datos experimentales, desarrollar modelaciones numéricas y generar nuevos procedimientos para el análisis de datos. A partir de los resultados de diversos estudios en esta materia de investigación, se puede evidenciar que se ha logrado avanzar en el entendimiento de procesos físicos no lineales y en el análisis de sistemas que claramente se describen por una alta heterogeneidad en el medio poroso constituyente. No obstante, el marco de investigación está aún en construcción y es necesario adelantar investigaciones que permitan avanzar en bases conceptuales de tópicos como son: la fragmentación de suelos, la geometría del medio poroso, el flujo y el transporte de solutos en medios porosos, el comportamiento del flujo en las diferentes escalas del medio poroso, entre otros temas más.

Algunas de las herramientas conceptuales que aquí se han introducido, tienen por objeto generar inquietudes en los lectores y anticipar cuestionamientos sobre la utilidad de los mismos para enfrentar problemas en la ingeniería hidráulica; sin embargo, es importante tener en consideración que la simplicidad de estos modelos y su conexión con las propiedades geométricas del sistema de estudio, resultan atractivos e innovadores para explorar y estudiar. Quizás a

través de un claro entendimiento de las propiedades geométricas del sistema y de las rupturas de simetría asociadas a ellas, se logre mejorar nuestros sistemas de alarma y predecir el comportamiento del sistema frente a nuevos escenarios climáticos y efectos antropogénicos.

Figura 2. Campo de concentración de solutos



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Ilustración de una realización de un campo de concentración de solutos, rescalado en el rango $[0,10]$ y simulado con los parámetros $d = 2$, $b = 4$, $M_0 L^2 = 1$ y $E[W] = 1$. El recuadro superior muestra una vista bidimensional del campo y en ella se ilustran las regiones espaciales donde se concentra la mayor parte de los solutos, así mismo, el recuadro inferior permite identificar el alto grado de intermitencia que es generada por el modelo.

Referencias

- Barnsley, M. (1993). *Fractals Everywhere*. Segunda edición. California, Estados Unidos: Academic Press.
- Feder, J. (1988). *Fractals*. New York, Estados Unidos: Plenum Press.
- Folorunso, O., Puente, C., Rolson, D. & Pinzon, J. (1994). Statistical and fractal evaluation of the spatial characteristics of soil surface strength. En *Soil Science Society of America Journal*, 58, pp. 284-294.
- Frisch, U. (1995). *Turbulence: The legacy of A. N. Kolmogorov*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Frisch, U. & Parisi, G. (1985). On the singularity structure of fully developed turbulence. En M. Ghil, R. Benzi and G. Parisi (Eds.). *Turbulence and Predictability in Geophysical Fluid Dynamics*. Pp. 84 – 87. North Holland: Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi” (Varena, 1983).
- Gupta, V. y Waymire, E. (1993). A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade. En *Journal of American Meteorological Society*, 32, pp. 251-267.
- Hunt, A. G. (2001). Applications of percolation theory to porous media with distributed local conductances. En *Advances in Water Resources*. 24 (3,4), pp. 279-307.
- Hunt, A. & Ewing, R. (2017). Scaling. En Cushman, J. y Tartakovsky, D. (Eds.). *The handbook of groundwater engineering*. Pp. 459-495. Florida, Estados Unidos: The Taylor & Francis Group.
- Mandelbrot, B. (1982). *The fractal geometry of nature*. New York: W.H. Freeman.
- Mandelbrot, B. (1988). *Fractal and Multifractals: Noise, Turbulence and Galaxies*. New York: Springer.
- Molz, F., Liu, H. y Szulga, J. (1997). Fractional Brownian motion and fractional Gaussian noise in subsurface hydrology: a review, presentation of fundamental properties, and extensions. En *Water Resources Research*, 33 (10), pp. 2273-2286.
- Molz, F., Rajaram, H. y Lu, S. (2004). Stochastic fractal-based models of heterogeneity in subsurface hydrology: origins, applications, limitations, and future research questions. En *Reviews of Geophysics*, 42. doi:10.1029/2003RG000126.

- Neuman, S. (1990). Universal scaling of hydraulic conductivities and dispersivities in geologic media. En *Water Resources Research*, 26, pp. 1749-1758.
- Over, T. y Gupta, V. (1994). Statistical analysis of mesoscale rainfall: dependence of a random cascade generator on large-scale forcing. En *Journal of Hydrology*, 33, pp. 1526-1542.
- Pachepsky, Y., Perfect, E. y Martín, M. (2006). Fractal geometry applied to soil and related hierarchical systems. En *Geoderma*, 134, pp. 237-239.
- Perfect, E., y Kay, B. (1995). Applications of fractals in soil and tillage research: a review. En *Soil Tillage Research*, 36, pp. 1-20.
- Perfect, E., Pachepsky, Y. y Martin, M. (2009). Fractal and multifractal models applied to porous media. En *Vadose Zone Journal*, 8(1), pp. 174-176.
- Pfeifer, P., Avnir, D., y Farin, D. (1983). Ideally irregular surfaces of dimension greater than two in theory and practice. En *Surface Science*, 126, pp. 569-572.
- Puente, C. (1996). A new approach to hydrologic modeling: derived distributions revisited. En *Journal of Hydrology*, 187 (1,2), pp. 65-80.
- Puente, C. y Obregon, N. (1996). Deterministic geometric representation of temporal rainfall: results for a storm in Boston. En *Water Resources Research*, 32, pp. 2825-2839.
- Puente, C., Robayo, O., Díaz, M. & Sivakumar, B. (2001). A fractal-multifractal approach to groundwater contamination. 1. modeling conservative tracers at the borden site. En *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 15 (5), pp. 357-371.
- Puente, C., Robayo, O. & Sivakumar, B. (2001). A fractal-multifractal approach to groundwater contamination. 2. Predicting conservative tracers at the Borden site. En *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 15 (5), pp. 372-383.
- Sivakumar, B., Harter, T. & Zhang, H. (2005). Solute transport in a heterogeneous aquifer: a search for nonlinear deterministic dynamics. En *Nonlinear Processes in Geophysics*, 12, pp. 211-218.



INCIDENCIAS DEL CONFLICTO ARMADO SOBRE EL ACUÍFERO DE PUERTO BOYACÁ Y PERSPECTIVA A PARTIR DEL POSCONFLICTO

Edgar Ricardo Monroy Vargas¹
Sharel A. Charry Ocampo²

¹ Ph. D Docente investigador de la Universidad Piloto de Colombia.

² Ingeniera ambiental, M. Sc. (E) Investigadora del Instituto Geofísico de la Pontificia Universidad Javeriana.

El municipio de Puerto Boyacá está ubicado en el extremo occidental del departamento de Boyacá y hace parte de los municipios que se encuentran sobre la región geográfica del Valle Medio del Magdalena (VMM); un valle plano y de gran amplitud, conformado por meandros y brazos del río Magdalena (Alcaldía de Boyacá, 2004) (Hochschild et al., 2014) (Ministerio del trabajo, 2014). En el extremo norte, este limita con el departamento de Santander y en el sur con el de Cundinamarca (Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, 2008).

Puerto Boyacá está dividido en 10 subcuencas, de las cuales nueve drenan hacia el río Magdalena, a lo largo de más de 70 kilómetros. En la Tabla 2 se presentan las cuencas y el tipo de corriente.

Tabla 2. Subcuencas del municipio de Puerto Boyacá	
Subcuenca	Tipo de corriente
Magdalena	Río
Damiana	Quebrada
La Velásquez	Quebrada
Palagua	Caño
Ermitaño AD	Río
Dos Quebradas Terraplén	Quebrada
Negro	Río
Guaguaqui	Río
Jaguey	Caño
Ortiz	Caño

Fuente: Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, 2008.

Las actividades económicas de Puerto Boyacá son: petróleo, la ganadería, la pesca y la agricultura (Ministerio del trabajo, 2014). Principalmente, la actividad petrolera es destacada desde hace muchos años por su alta producción de crudos, infraestructura y condiciones adecuadas (Hochschild *et al.*, 2014)

(Ministerio del trabajo, 2014). La segunda actividad más importante es el sector agropecuario, principalmente por los cultivos permanentes de palma africana, cacao, caucho, café, tabaco, y, en menor grado, los cultivos como plátano, limón, guayaba, maíz, entre otros.

Los principales cuerpos de agua que atraviesan el municipio de Puerto Boyacá son El Ermitaño, El Negro, la quebrada Velásquez y la quebrada Sacamujeres. Además, se pueden apreciar humedales ubicados en zonas planas cercanas al río Magdalena (cerca de la ciénaga Palagua, en la ciénaga Marañal, a los lados de la vía que conduce a Medellín, y en la parte norte entre Vasconia y Puerto Serviez) (Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, 2008). Cabe resaltar que debido a sus condiciones geográficas, este posee las áreas más grandes de inundación en relación con el área total del departamento (Ardila & Fajardo, 2016).

Los usos del agua en Puerto Boyacá están especialmente relacionados con el consumo para actividades humanas y de producción. La concesión se realiza a través de la una única fuente de abastecimiento subterránea, mediante captaciones en pozos subterráneos en la zona urbana (Alcaldía de Puerto Boyacá). El acueducto principal tiene trece pozos subterráneos, de los cuales algunos se mantienen intermitentes en las épocas de escasez hídrica (Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, 2008).

El acuífero principal en Puerto Boyacá tiene su mismo nombre y es un de tipo regional, integrado por la formación Mesa (Tsm), donde se extienden por decenas de kilómetros, en dirección norte y sur, a lo largo de la margen oriental del Valle del Río Magdalena (Universidad Santo Tomas, seccional Tunja, 2008).

El volumen de extracción anual del acuífero de Puerto Boyacá es de 4.617.930 metros cúbicos, más otros metros cúbicos que se desconocen, procedentes de usos ilegales (pozos no concesionados y riego de cultivos ilícitos). Este valor está por encima de los caudales de recarga (128.096 m³), por lo que puede evidenciarse un futuro agotamiento en almacenamiento de recurso hídrico, según reportes de la Universidad Santo Tomas.

En el contexto social, Puerto Boyacá tiene un historial fuertemente ligado con el conflicto armado, al sufrir violencia a manos de la guerrilla y el paramilitarismo. Desde la década de los 70, este tuvo una influencia inicial del partido comunista, pero posteriormente se crearon organizaciones de defensa civil, por lo que fue considerada como la cuna del paramilitarismo (Hochschild *et al.*, 2014) y años

más adelante fue nombrada la “capital antisubversiva de Colombia”(Hochschild *et al.*, 2014; Rendón, 2017).

Además de su ubicación estratégica, la falta de presencia estatal, los conflictos agrarios ocasionados por la propiedad de la tierra y el narcotráfico, Puerto Boyacá fue una de las ciudades predilectas para la consolidación de la autodefensa campesina del Magdalena medio, conformada por campesinos, ganaderos y políticas gubernamentales (Cruz, 2007).

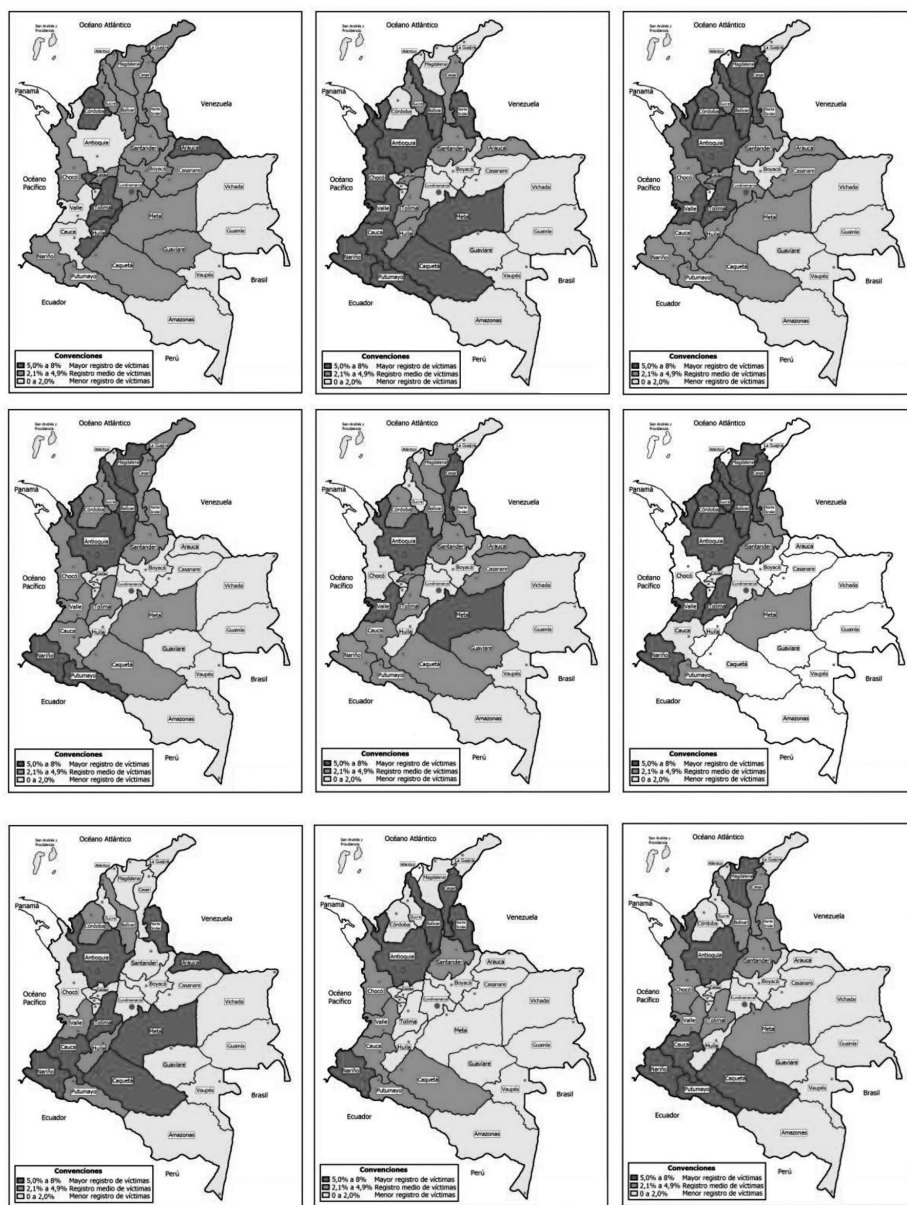
Previo a estos hechos, algunos hitos marcaron la historia de la violencia en Colombia durante el siglo XX. Uno de los más importantes sucedió en 1948, con el asesinato del candidato presidencial liberal Jorge Eliécer Gaitán, el cual dio inicio al periodo conocido como “La Violencia”, el cual dejó un saldo total de casi 200.000 muertos, entre 1948 y 1953. Después, con el propósito de terminar el conflicto bipartidista, entre liberales y conservadores, se firmó un acuerdo denominado “Frente Nacional”, el cual cubrió el periodo comprendido entre 1958 y 1974 (Arias *et al.*, 2014).

A pesar de este esfuerzo, la desigualdad de ingresos, la debilidad institucional y las disputas de tierras dieron surgimiento al conflicto armado. En 1964, Marquetalia (Caldas) fue ocupada forzosamente por el ejército, lo cual produjo la reorganización de las guerrillas móviles, constituyéndose oficialmente como las “Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia” (Arias *et al.*, 2014).

En general, las dinámicas del conflicto armado han dejado millones de víctimas en todo el país, desde 1985 hasta la actualidad. El número de víctimas ha dependido, principalmente, de etapas conciliatorias entre el Estado y estos grupos insurgentes. Por ejemplo, entre el periodo 2002-2010 se implementó la “Política de Seguridad Democrática” y entre 2010-2015 “la Ley de Víctimas y el Proceso de Reparación Integral”, en donde se presenció una disminución de víctimas en la mayoría del país (Cruz, 2007).

En los últimos 50 años, el conflicto armado interno ha dejado casi ocho millones de víctimas, de las cuales 7.014.700 fueron desplazadas por la violencia, 953.730 fueron asesinadas y 158.793 sufrieron desapariciones forzadas, de manera directa e indirecta. Por su parte, el reclutamiento forzado ha alcanzado a 7.738 menores; se han registrado 11.037 casos de delitos contra la libertad e integridad sexual y 13.305 accidentes de minas antipersonal, entre otros delitos (Objetivos del Milenio, ONU).

Figura 1. Víctimas por homicidios, por tipo de acción, contra la libertad e integridad, por amenazas, por desaparición forzada, por abandono o despojo, por minas antipersonas, por secuestros y por tortura en los departamentos de Colombia entre 1985-2016



Fuente: Chará, 2016.

El conflicto armado interno en las regiones se ha basado en la dualidad presencia y ausencia de la institucionalidad pública. Por esta razón, la violencia ha sido diferencial en diferentes regiones y departamentos del país. Chará (2016), reportó las víctimas por diferentes formas de victimización del conflicto armado a nivel departamental (ver figura 1), donde el color rojo representa el mayor número de víctimas, el anaranjado el número intermedio y el amarillo el menor número de víctimas.

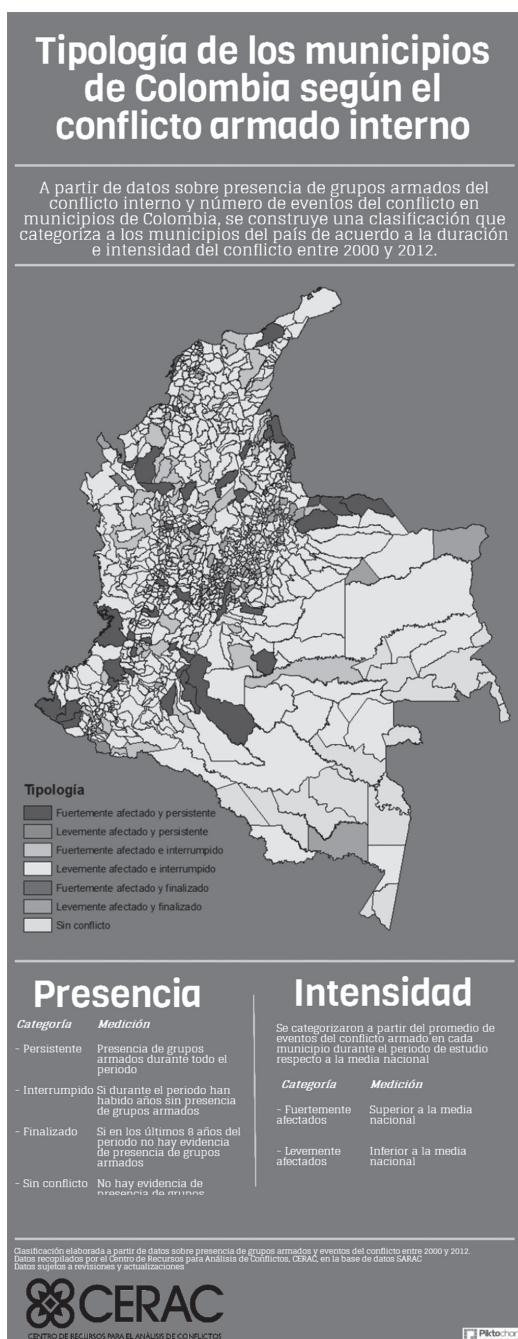
El conflicto armado interno en las regiones se ha basado en la dualidad presencia y ausencia de la institucionalidad pública. Por esta razón, la violencia ha sido diferencial en diferentes regiones y departamentos del país. Cruz (2007), reportó las víctimas por diferentes formas de victimización del conflicto armado a nivel departamental (ver Figura 1), donde el color rojo representa el mayor número de víctimas, el anaranjado el número intermedio y el amarillo el menor número de víctimas.

En este sentido, los departamentos con mayor registro de víctimas son Antioquia, Meta y Nariño. Los cuales tienen una larga historia de presencia en grupos guerrilleros y paramilitares desde la década de los 80.

Como se observa en la figura 1, el departamento de Boyacá ha sido uno de los que registra la menor cantidad de víctimas desde 1985 hasta el 2015, sin embargo, en la Figura 2 se evidencia una fuerte afectación al conflicto armado, pero en una etapa de finalización.

Actualmente, Boyacá ha registrado casi 40 mil víctimas, es decir el 0,5% del total de víctimas nacionales, de las cuales de 4.483 personas (el 10%) corresponden al municipio de Puerto Boyacá y representan cerca del 8% de la población de ese municipio (Correal, 2017; Cruz, 2007; El Tiempo, 2016; García, 2017; Rendón, 2017).

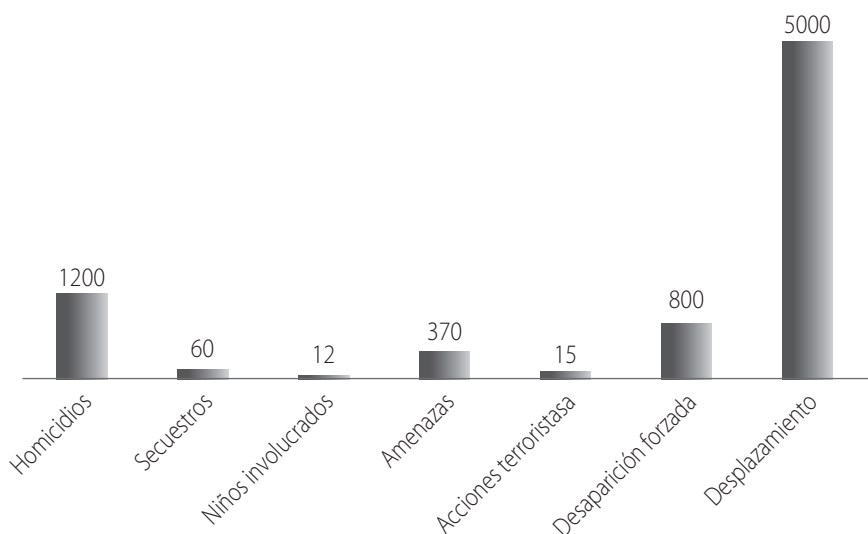
Figura 2. Afectación de municipios por el conflicto armado



Fuente: Centro de Recursos para el Análisis de Conflictos (CERAC).

Desde la Red Nacional de Información para el departamento de Boyacá se han reportado los siguientes datos, relacionados al conflicto armado en el municipio de Puerto Boyacá:

Figura 3. Casos relacionados al conflicto armado en el municipio de Puerto Boyacá (1984-2015)



Fuente: elaboración propia (2017), con base en información de la Gobernación de Boyacá.

En relación a los otros municipios del departamento de Boyacá, Puerto Boyacá supera el promedio en todos los casos de victimización por parte de los grupos armados. Entre otras cosas, la explotación ilegal de esmeraldas y los vínculos históricos del negocio ilícito de los carteles del narcotráfico y grupos paramilitares son otra muestra de cómo los recursos naturales han financiado el conflicto armado (Gutiérrez y Barón, 2008; Lavaux, 2006).

Dadas las condiciones anteriores de Puerto Boyacá frente al conflicto armado, y la escasez general de recursos hídricos en el municipio (Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, 2008), el ambiente también ha sido víctima silenciosa y oculta de la violencia (Radio Mundo Real, 2015).

La cantidad y la calidad del recurso hídrico subterráneo en el municipio pueden ser potencialmente amenazadas por todas las acciones enmarcadas en el conflicto armado. Los recursos naturales con el pasar de los años se han convertido en un escenario catalizador y en un instrumento político, por parte de los alzados en armas (Lavaux Stéphanie, 2004; Radio Mundo Real, 2015).

Según Londoño y Aguadelo (2014), la probabilidad de conflicto armado aumenta cuando existen cambios o escasez en los recursos naturales. Los enfrentamientos armados, los bombardeos, la siembra de minas antipersonas, el uso de explosivos, la construcción de bases y campamentos, las fumigaciones de los cultivos ilícitos y las voladuras en los oleoductos han causado, en la mayoría de casos, desaparición y pérdida de especies de fauna y flora, destrucción de bosques y selvas, contaminación de fuentes hídricas, contaminación y destrucción de hábitats de varias especies e impactos sobre el paisaje (Macías, 2015).

Como por ejemplo, en Colombia se han perdido seis mil millones de hectáreas de bosques (Londoño & Agudelo, 2014) por cultivos ilícitos en los municipios. El director de Planeación afirmó que el 87 % de los cultivos ilícitos se encuentran en zonas de conflicto; “el 42 % de los parques nacionales se han visto afectados por cultivos de coca, poniendo en riesgo el abastecimiento del 50 % del agua de la población del país, afectando a 20 millones de colombianos”. Los municipios en conflicto albergan el 42 % de los bosques del país, allí se concentra el 75 % de la deforestación y de la erosión por esta causa, equivalente a 430.000 hectáreas (Caracol Radio, 2016).

En el caso específico de los cultivos ilícitos, el uso de agroquímicos deteriora las calidades productivas de la tierra, afecta la biodiversidad local y promueve la contaminación subterránea (Macías, 2015). Aunque Colombia sea uno de los países más ricos del mundo en recurso hídrico, la distribución de este no es igual en todos sus municipios, como en el caso de Puerto Boyacá, el cual cuenta con una única fuente de abastecimiento (subterránea). Debido a ello, esta condición lo hace propenso a una escasez de agua a futuro, considerando las proyecciones del cambio climático (Alianza Clima y Desarrollo, 2016).

Monroy (2009) usó un modelo llamado Ivafic, fundamentado en una aproximación cualitativa representada en una matriz de Evaluación Impacto Ambiental (EIA), para determinar la vulnerabilidad en una cuenca. En esta metodología, algunos de los indicadores (factores históricos) relacionan directamente la seguridad ciudadana con la sostenibilidad de los recursos hídricos. En este sentido, el posconflicto juega un papel importante, en municipios vulnerados como Puerto Boyacá, porque este tiene como fin la desactivación de la violencia, la reforma agraria equitativa, la ampliación y profundización de la democracia, la protección de los derechos de las víctimas y la protección reforzada del ambiente (Bello Montes, 2009; Rodríguez, Rodríguez Franco & Durán, 2017).

La falta información sistematizada en cuanto a fuentes hídricas y conocimiento de medidas efectivas de adaptación de algunas zonas de conflicto que sufren escasez hídrica, dificulta en cierta medida las acciones de posconflicto (Alianza Clima y Desarrollo, 2016). Dentro de los objetivos del milenio también se plantea que Colombia tiene compromiso histórico de ponerle fin al conflicto armado, el cual viene destruyendo vidas y deteriorando los ecosistemas desde hace más de 50 años.

Figura 4. Firma del acuerdo para sustitución de cultivos ilícitos



Fuente: Alta Consejería para el Posconflicto, 2017.

En una visión al posconflicto en Puerto Boyacá, desde el Gobierno Nacional y desde la Alcaldía Municipal se han sumado esfuerzos en varios proyectos, como la construcción de un centro de convivencia para el posconflicto, un parque de reconciliación, la administración municipal, el Observatorio de Paz Integral Magdalena Medio, y un acompañamiento a los productores de cacao, café, de frutos, cítricos, aguacate y panela (RCN Radio, 2015; García, 2017; Rendón, 2017). No obstante, Puerto Boyacá aún no se encuentra entre los 125 municipios priorizados para los acuerdos de paz (Reconciliación Colombia, 2015), ni ha firmado ningún acuerdo en el programa nacional de sustitución de cultivos uso ilícito (Alta Consejería para el Posconflicto, 2017; Salinas, González & Gélvez, 2017).

Aunque no se ha reportado, históricamente, ningún hecho que relacione los efectos directos del conflicto armado sobre el acuífero de Puerto Boyacá, se analiza a partir de esta investigación que el posconflicto dibuja un panorama más positivo y de sostenibilidad para los recursos naturales, principalmente para los recursos hídricos en los municipios como este, que incluyen planes de recuperación ambiental con acciones efectivas que reduzcan el deterioro y el agotamiento del acuífero.

El desafío está en garantizar que el uso de suelo sea de acuerdo a su disposición legal, para lograr la reanudación de los servicios ecosistémicos y así enfrentar otros fenómenos como el cambio climático durante la transición a la paz. En este contexto, se espera que se le dé una atención especial a la gestión sostenible de los recursos naturales en las zonas afectadas por el conflicto por más de 50 años, y se reduzcan los costos asociados a la degradación ambiental (más de 7,1 billones de pesos) (Caracol Radio, 2016).

Referencias bibliográficas

- Alianza Clima y Desarrollo. (2016). Proyecto: Agua, adaptación y post-conflicto. Retrieved October 9, 2017, from https://cdkn.org/project/agua-adaptacion-y-post-conflicto/?loclang=es_es
- Alta Consejería para el Posconflicto, D. H. y S. (2017). Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos Ilícitos. Retrieved October 9, 2017, from <http://especiales.presidencia.gov.co/Documents/20170503-sustitucion-cultivos/programa-sustitucion-cultivos-ilicitos.html>

- Ardila, D., & Fajardo, A. (2016). ANÁLISIS SOBRE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN BOYACÁ 2015-2016 - Buscar con Google. Retrieved October 4, 2017, from <https://www.google.com.co/search?q=ANÁLISIS+SOBRE+LA+GESTIÓN+DEL+RIESGO+DE+DESASTRES+EN+BOYACÁ+2015-2016&oq=ANÁLISIS+SOBRE+LA+GESTIÓN+DEL+RIESGO+DE+DESASTRES+EN+BOYACÁ+2015-2016&aqs=chrome..69i57j69i60.305j0j7&sourceid=chrome>
- Arias, M. A. (Arias C., Camacho, A., Ibáñez, A. M., Mejía, D. (Mejía L., Rodríguez, C., Castañeda, A., ... Rettberg., A. (2014). *Costos económicos y sociales del conflicto en Colombia: ¿cómo construir un posconflicto sostenible?* Retrieved from <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/15567>
- Bello Montes, C. (2009). *Revista Criminalidad. Revista Criminalidad* (Vol. 51). Policía Nacional de Colombia. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-31082009000100006
- Boyaca, alcaldia de puerto. (2004). *Plan de ordenamiento territorial de Puerto Boyaca (2004-2012)*. Retrieved from [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/resumen_pot_pto_boyaca_\(75_pag_935_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/DocumentosPDF/resumen_pot_pto_boyaca_(75_pag_935_kb).pdf)
- Chará, W. D. (2016). 3. Las víctimas del conflicto armado interno en Colombia, 1985-2015. *Anuario del Conflicto Social*, (5).
- Construyen Centro de Convivencia Ciudadana para el postconflicto en Puerto Boyacá - RCN Radio. (2015). *RCN Radio*. Retrieved from <http://www.rcnradio.com/locales/construyen-centro-convivencia-ciudadana-postconflicto-puerto-boyaca/>
- Correal, C. (2017). Boyacá tiene más de 40 mil víctimas del conflicto - Otras Ciudades - Colombia - ELTIEMPO.COM. Retrieved October 8, 2017, from <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/boyaca-tiene-mas-de-40-mil-victimas-del-conflicto-61560>
- Cruz, E. (2007). Los Estudios Sobre El Paramilitarismo En Colombia. In *Análisis Político* (Vol. 20, pp. 117–134). Instituto de Estudios Políticos y Relaciones Internacionales, Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-47052007000200006&script=sci_arttext&tlng=en
- El Tiempo. (2016). Cifras de las víctimas del conflicto armado en Colombia - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. Retrieved October 8, 2017, from <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16565045>

- García, G. (2017). Boyacá: ¿cómo superar el conflicto social? | Colombia 2020. *El Espectador*. Retrieved from <http://colombia2020.elespectador.com/pais/boyaca-como-superar-el-conflicto-social>
- González, A. S. G., & Carrillo, C. C. Q. (2017). *Series "Higher education for sustainability" Ploutos* (Vol. 7). VAS. Retrieved from <http://journal.ean.edu.co/index.php/plou/article/view/1760>
- Hochschild, F., Residente, R., Peral, A., Inka, P., Directora, M., Adjunta, P., ... Santander, P. (2014). Diagnóstico socioeconómico del Departamento del Magdalena Medio 2 Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD Proyecto Objetivos de Desarrollo del Milenio en lo local Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH Estrategia territorial para la gestión equitativa y sostenible del Sector de Hidrocarburos DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO DEL MAGDALENA MEDIO Coordinador ODM en lo local. Retrieved from <http://www.anh.gov.co/Seguridad-comunidades-y-medio-ambiente/SitioETH-ANH29102015/como-lo-hacemos/ETHtemporal/DocumentosDescargarPDF/1.1.2 DIAGNOSTICO MAGDALENA MEDIO.pdf>
- Lavaux Stéphanie. (2004). Degradación ambiental y conflictos armados: las conexiones. *Centro Editorial Universidad Del Rosario*. Retrieved from http://www.urosario.edu.co/urosario_files/16/16c9d5ec-fbd8-4770-a094-b8ab46b9b1b4.pdf
- Londoño, M. C., & Agudelo, J. (2014). EL MEDIO AMBIENTE, OTRA VÍCTIMA DEL CONFLICTO ARMADO COLOMBIANO ACTUAL. Retrieved from <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2027/Trabajo de Grado Ledy Johana Martinez y Maria Consuelo Londoño Holguin.pdf?sequence=1>
- Macías, J. (2015, January 30). El medio ambiente: otra víctima silenciosa del conflicto. *El Colombiano*. Retrieved from <http://www.elcolombiano.com/colombia/el-medio-ambiente-otra-victima-silenciosa-del-conflicto-GX1189844>
- Ministerio del trabajo. (2014). *Plan de Empleo Región Magdalena Medio*. Retrieved from [file:///C:/Users/impresiongeo/Downloads/Plan de Empleo del Magdalena Medio \(1\).pdf](file:///C:/Users/impresiongeo/Downloads/Plan de Empleo del Magdalena Medio (1).pdf)

- Otros actores del Conflicto armado en Colombia y el reconocimiento de las víctimas por megaproyectos | Movimiento Colombiano. (2014). Retrieved October 5, 2017, from <https://defensaterritorios.wordpress.com/2014/08/20/colombia-victimas-de-megaproyectos-y-la-naturaleza-como-victima/>
- Pitre-Redondo, R., Cardona-Arbeláez, D., & Hernández-Palma, H. (2017). Proyección del emprendimiento indígena como mecanismo de competitividad en el postconflicto colombiano. *REVISTA DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN*, 7(2), 231–240. <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6068>
- Radio, C. (2016). El 87% de los cultivos ilícitos se encuentran en municipios de conflicto: Planeación. Retrieved from http://caracol.com.co/radio/2016/03/10/nacional/1457631484_713801.html
- Radio Mundo Real. (2015). "Se debe reconocer a la naturaleza como víctima del conflicto armado en Colombia" - Extractivismo en Colombia. Retrieved October 5, 2017, from <http://extractivismoencolombia.org/se-reconocer-la-naturaleza-victima-del-conflicto-armado-colombia/>
- Reconciliación Colombia. (2015). Estos son los 125 municipios del posconflicto, según la ONU | Arcoiris.com.co. Retrieved October 5, 2017, from <http://www.reconciliacioncolombia.com/historias/detalle/644/estos-son-los-125-municipios-del-posconflicto-segun-la-onu>
- Rendón, O. (2017, March). En Puerto Boyacá quieren las armas de los paramilitares para construir monumento - El Colombiano. Retrieved from <http://m.elcolombiano.com/puerto-boyaca-antioquia-solicito-armas-de-paramilitares-para-un-monumento-AN6179013>
- Rodríguez, C., Rodríguez Franco, & Durán, H. (2017). La paz ambiental: retos y propuestas para el posacuerdo. *Dejusticia*. Retrieved from https://www.dejusticia.org/wp-content/uploads/2017/04/fi_name_recurso_924.pdf
- Salinas, R. S., González, J. A. J., & Gélvez, M. A. L. (2017). *Mediaciones*. *Mediaciones*, 0(16), 94–113. Retrieved from <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/med/article/view/1463>
- Universidad santo tomas, seccional tunja. (2008). *Informe final, formulación del plan de manejo y protección del acuífero de puerto boyacá*.



CAMBIO CLIMÁTICO Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

Edgar Ricardo Monroy Vargas¹

Sharel A. Charry Ocampo²

¹ Ph. D. Docente investigador de la Universidad Piloto de Colombia.

² Ingeniero ambiental, M. Sc. (E) Investigadora del Instituto Geofísico de la Pontificia Universidad Javeriana.

Generalidades

El agua es un recurso esencial para la vida en la tierra, la regulación climática y la formación de los paisajes. Desde siempre, el ser humano ha tenido la necesidad de abastecerse de esta para el desarrollo de sus actividades económicas, aunque su uso también mejora la calidad de vida y da mejor bienestar social, económico y cultural. Con el transcurso de los años, la demanda de agua ha incrementado por el aumento de la población, el crecimiento de las ciudades y por la aparición de nuevas actividades económicas.

Cuando las fuentes hídricas superficiales empezaron a verse muy afectadas por la demanda excesiva, la contaminación y la ausencia de precipitación en zonas áridas, las aguas subterráneas empezaron a ser una alternativa de abastecimiento bastante llamativa por su excelente calidad y cantidad. Debido a ello, juegan un rol importante en la mitigación de la pobreza y el conflicto social, y también en la mejora de los niveles económicos, educativos y tecnológicos en el mundo.

El agua encontrada bajo la superficie es captada desde pozos verticales, comúnmente para satisfacer una demanda determinada (Sociedad Geográfica de Lima, 2011). Otro dato importante es que las aguas subterráneas proporcionan la mitad del agua de abastecimiento para consumo humano (Unesco, 2006). Según López *et al.* (2001), estas constituyen la tercera fuente más grande de agua a nivel mundial.

La mayoría del agua subterránea tiene origen en el ciclo hidrológico, donde se supone existe una constante circulación del agua por encima y debajo de la corteza terrestre (Collazo & Montaña, 2012; López *et al.*, 2009). El agua precipitada que llega a la superficie queda retenida en surcos, pero en su mayoría vuelve a la atmósfera, la otra parte escurre como agua superficial (escorrentía superficial) y llega a los ríos y arroyos. Al mismo tiempo, otra cantidad de agua fluye a través de los materiales porosos saturados hacia los niveles más bajos. Esta puede quedarse

Tabla 1. Estimación de la distribución del agua en la hidrósfera

Fuentes hídricas	Volumen (hm ³ *10 ⁶)	% de agua total en el planeta
Océanos y mares	1.338.000,0	97,5
Glaciares y casquetes polares	24.064,0	1,74
Aguas subterráneas dulces	10.530,0	0,76
Lago de agua dulce	91,0	0,007
Lago de agua salada	85,4	0,006
Ríos	2,1	0,0002
Biomasa	1,1	0,0001
Atmósfera	12,9	0,001

Fuente: López *et al.*, 2009.

en el subsuelo o puede volver a surgir naturalmente como manantiales o caudal base de los ríos cercanos (Fuentes, 1992; López *et al.*, 2009; Sociedad Geográfica de Lima, 2011; Werner, 1996).

Acuíferos

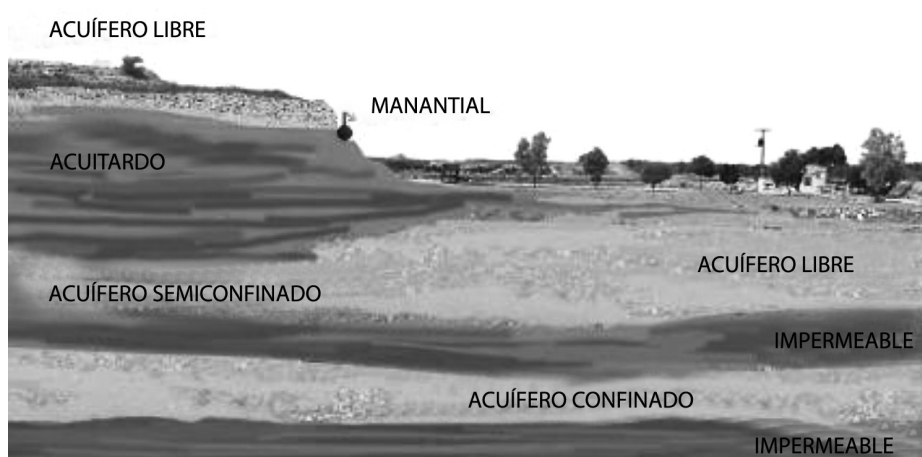
El agua subterránea se encuentra almacenada en acuíferos ubicados a distintas profundidades (Sociedad Geográfica de Lima, 2011) y es recargada, principalmente, por las precipitaciones o a través de retornos de algunos usos como el riego. Se desplaza de manera lenta, pero en acuíferos con presencia de fracturas la velocidad puede aumentar, dado que se crean caminos preferenciales por donde circula más fácilmente el agua (López *et al.*, 2009).

Los acuíferos son formaciones geológicas de roca y arena que tienen la suficiente permeabilidad y porosidad para almacenar y transmitir agua a través de ellos. Existen otras formaciones geológicas subterráneas que almacenan agua, pero tienen baja conductividad como los acuífardos, otras no conductoras como los acuífugos (Werner, 1996), y otras formaciones geológicas impermeables que contienen agua, pero que no es posible transmitirla, ni extraerla como los acuícludos (Collazo & Montaña, 2012; Gálvez, 2012).

Los acuíferos también se clasifican en función a la presión hidrostática: acuíferos libres (no confinados o freáticos), acuíferos confinados (cautivos o a presión) o acuíferos semiconfinados (ver figura 1). Los primeros se caracterizan por tener una capa impermeable en la parte inferior y, en la parte superior, por estar a

presión atmosférica, estos tienen recarga directa por infiltración. Los confinados, por su parte, tienen en la parte superior una formación de baja permeabilidad; así, el agua procede de la descompresión de la estructura permeable vertical cuando se produce la depresión en el acuífero. Y los semiconfinados son un caso particular de los acuíferos confinados, dado que tienen en la parte inferior y superior una capa de baja permeabilidad, que en poca medida permiten que fluya el agua (Collazo & Montaña, 2012; Gálvez, 2012; Parlamento Europeo, 2000).

Figura 1. Clasificación de acuíferos



Fuente: López *et al.*, 2009.

Como fue mencionado anteriormente, la porosidad y la permeabilidad son fundamentales para que los acuíferos contengan agua. Un material es más permeable cuando es poroso y sus poros son grandes y están conectados (magnitudes intrínsecas) (Gálvez, 2012; Werner, 1996); además, la permeabilidad puede depender de la viscosidad y del peso específico del fluido (magnitudes extrínsecas). Así, se tiene que la porosidad primaria es generada durante la formación de la roca y hay una porosidad secundaria que es producida después de la formación de esta (meteorización, generación de fracturas por cambio de presión, aberturas de disolución, entre otros) (López-Geta *et al.*, 2009).

Un acuífero es isótropo si sus características físicas (permeabilidad) son constantes en las tres direcciones del espacio, y es homogéneo si presentan en todos los sentidos del escurrimiento características físicas constantes (Peralta & López Sardi, 2012).

En los acuíferos libres, que son los más comunes, se pueden diferenciar dos zonas: la zona no saturada ZNS y la zona saturada ZS, que a su vez tienen subzonas como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Perfil de suelo

			↓ Nivel del Terreno	
Infiltración	Agua Hogros cópica	Zona ETP		Zona no Saturada
		Zona de Retención	-----	
	Agua Capilar	Zona Capilar	↓ Nivel Freático	
Percolación	Agua Gravífica	Capa Acuífera	↓ Manto Impermeable	Zona Saturada

Fuente: Gálvez, 2012.

La zona no saturada es donde los poros contienen agua y aire, nótese que el agua está sujeta a tensiones capilares que la mantienen adherida al terreno. Esta puede dividirse en tres partes, la subzona edáfica o de evapotranspiración, la cual comprende la superficie del terreno hasta la profundidad de las raíces. La subzona de retención intermedia, la cual varía en espesor de un acuífero a otro, allí la humedad del suelo cambia estacionalmente; y la subzona o franja capilar, la cual se caracteriza por la existencia de poros y fisuras llenas de agua que se mantienen por encima del nivel freático¹ y que causa tensiones capilares (López *et al.*, 2009; Werner, 1996).

En la zona saturada, los poros están totalmente llenos de agua. Allí la presión del agua es superior a la presión atmosférica y crece hidrostáticamente² al aumentar la profundidad. El agua en esta zona fluye naturalmente hacia ríos, lagos y manantiales, etc (López *et al.*, 2009).

La temperatura, la presión atmosférica y las mareas pueden tener influencia sobre los acuíferos. La temperatura influye directamente sobre los acuíferos libres, a través de la variación en el contenido de agua en la zona no saturada. Las variaciones de presión atmosférica influyen sobre los niveles de agua que

¹ Nivel freático: superficie que separa la franja capilar de la zona saturada. (Peralta & López Sardi, 2012).

² Presión ejercida por una columna de agua en reposo (López, Fórnes, & Ramos, 2009).

se encuentran en pozos en acuíferos confinados, porque es transmitida a los materiales permeables que constituyen el acuífero y el agua contenida en él, y las mareas ejercen influencia sobre los niveles piezómetros de acuíferos costeros (Gálvez, 2012).

Las aguas subterráneas en el mundo

El desarrollo de las aguas subterráneas tuvo una rápida expansión a partir de 1950 en la mayoría de los países industrializados, y en 1970 en la mayor parte de los países en vías de desarrollo. Desde ese momento, los estudios e investigaciones aumentaron considerablemente, y usaron la tecnología para empezar a catalogar los principales acuíferos: geometría, parámetros hidrogeológicos, funcionamiento hidrodinámico, cuantificación de recursos y reservas hídricas, grado de explotación, composición físico-química, entre otros (López *et al.*, 2009).

Según la Unesco, muchas de las ciudades más grandes del mundo (Ciudad de México, Teherán, Shanghai, Lima, Lusaka, Karachi, Dhaka, Manila, El Cairo, Londres, Beijing), y miles de otras ciudades de tamaño medio en todos los continentes dependen de las aguas subterráneas o consumen un gran volumen de las mismas; otras, sin embargo, han disminuido el uso de las aguas subterráneas, debido a problemas de subsidencia del terreno (Bangkok), intrusión marina (Buenos Aires) o contaminación de las aguas subterráneas (Jakarta).

Uno de los casos más significativos es India, donde se riegan más de 40 millones de hectáreas con aguas subterráneas, durante en los últimos cuarenta años, pasando de ser un país de pobreza generalizada a convertirse en un importante exportador de grano. Otro ejemplo es en España, donde casi el 30% de la población se abastece de aguas subterránea para regadío y el resto es para usos urbanos e industriales. En países como Dinamarca, Holanda, Hungría, Italia, Barbados, Malta y Costa Rica, dependen casi exclusivamente de las aguas subterráneas para saciar sus demandas. En Estados Unidos de América, la mitad del agua suministrada para uso urbano es subterránea, al igual que en Francia y Gran Bretaña, donde más de una tercera parte proviene de los acuíferos (López *et al.*, 2009).

Al comparar la tasa de extracción de aguas subterráneas con la recarga media anual, se ha identificado que muchos países de Oriente Medio, del sur

y norte de África, de Asia, en algunos países de Europa y en Cuba, se registran altos niveles de explotación. También se observa un uso intensivo de aguas subterráneas en países que presentan aridez y una alta densidad de población (Peralta & López Sardi, 2012).

En América del Sur, se evidencian altos niveles de estrés hídrico en muchas regiones y una inequidad en la ubicación de los recursos. Existen regiones con pequeñas reservas de aguas subterráneas para abastecer las necesidades de agua y otras zonas donde los recursos superan las demandas de la población.

Aguas subterráneas en Colombia

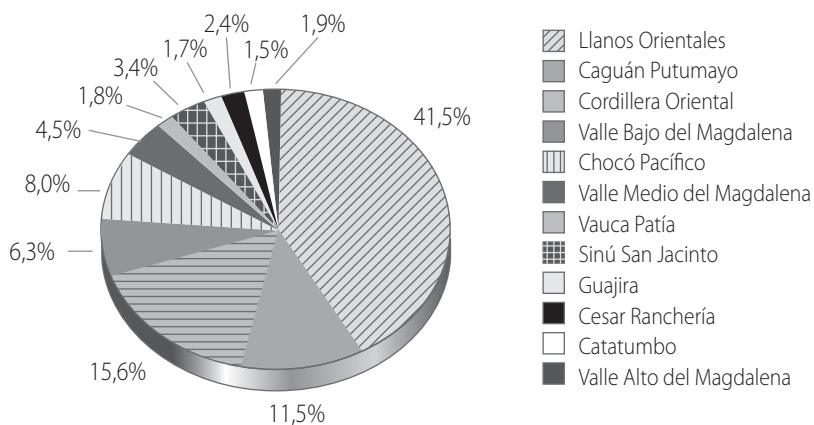
En Colombia, las reservas de aguas subterráneas corresponden principalmente a ambientes sedimentarios y vulcano-clásticos. La exploración de agua subterránea en el país se dio a mediados de 1950, con el propósito de abastecer a algunas poblaciones del país con agua potable. Inicialmente, se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia; sin embargo, actualmente se hace explotación de aguas subterráneas en todos los departamentos del país, incluyendo la isla de San Andrés (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2009).

Según ENA (2010), el aprovechamiento de las aguas subterráneas en el territorio colombiano es muy incipiente y existe un desconocimiento generalizado de los recursos hídricos subterráneos.

En Colombia, se clasifica la hidrogeología de la siguiente manera: provincias hidrogeológicas, las cuales son unidades separadas por rasgos estructurales regionales que coinciden con los límites de las cuencas geológicas mayores, corresponden a barreras impermeables y son representadas por fallas regionales y altos estructurales; y por los sistemas acuíferos, estos corresponden a un dominio espacial limitado por la superficie y profundidad, donde hay diferentes acuíferos con porosidad primaria y secundaria (Ideam, 2014).

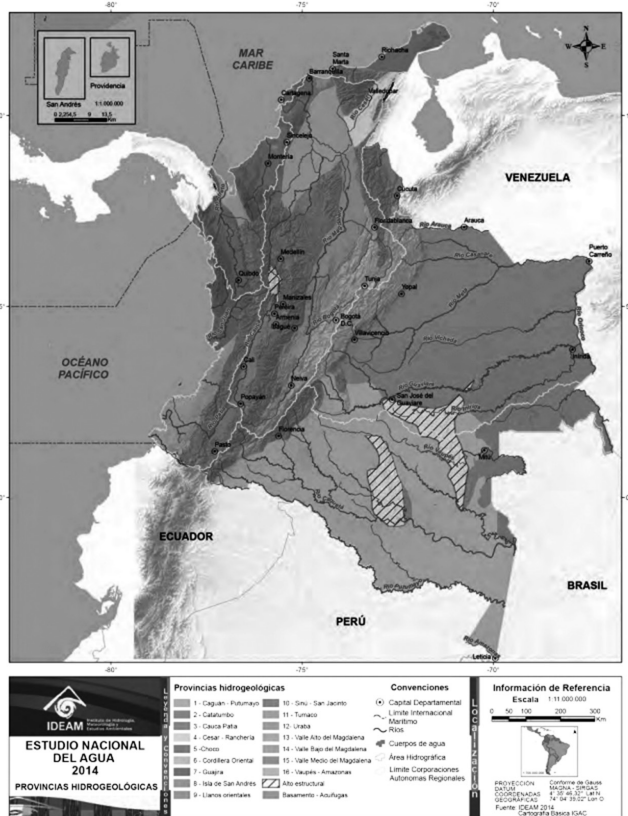
El 74,5% del territorio está cubierto por provincias hidrogeológicas, el otro 25,5% pertenece a formaciones hidrogeológicas desconocidas. Más del 50% de las provincias se encuentran en la Amazonía, Orinoquía y el Chocó (593.359 km²) (ver figura 3); pero las mayores reservas se encuentran en las provincias de los Llanos Orientales, Caguán-Putumayo y Cordillera Oriental (ver figura 2).

Figura 2. Distribución de reservas de agua subterránea por provincia hidrogeológica



Fuente: ENA, 2010.

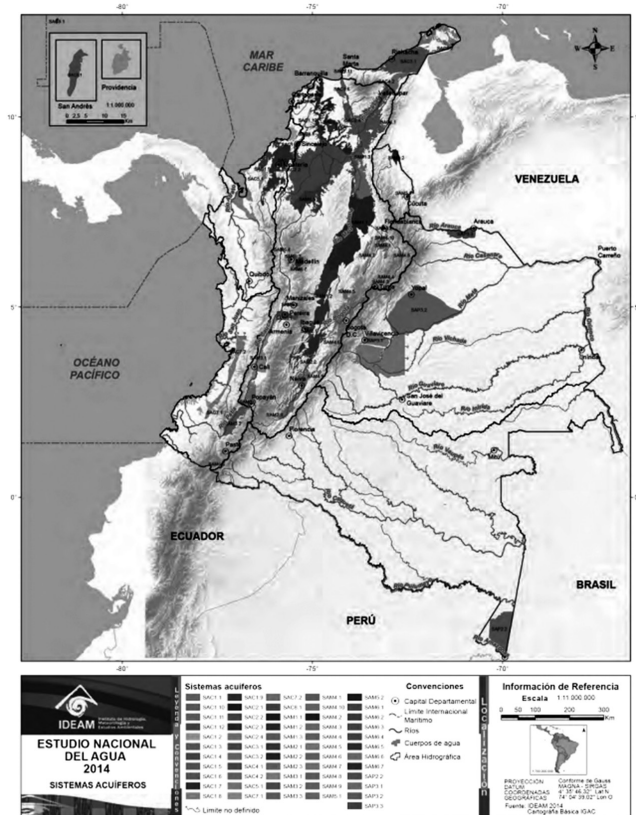
Figura 3. Localización de las provincias hidrogeológicas



Fuente: ENA, 2014.

En el ENA (2014) se identificaron 61 sistemas acuíferos que abarcan entre el 10% y el 15% del área cubierta por las provincias hidrogeológicas (ver figura 4).

Figura 4. Localización de los sistemas acuíferos



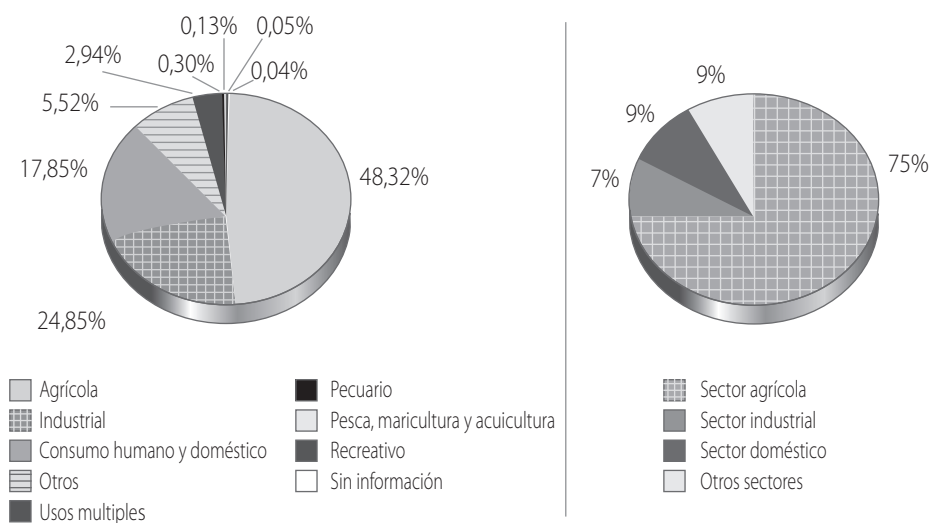
Fuente: ENA, 2014.

El área superficial que cubren los sistemas acuíferos es de 169.435 km², 638 municipios aproximadamente. La totalidad de 61 sistemas acuíferos se encuentran en Colombia, de estos, 15 se localizan en el área hidrográfica del Caribe, 33 en el área del Magdalena-Cauca, 3 en el área del Amazonas, 3 en el área del Orinoco y 7 en el área del Pacífico. Además, cinco acuíferos son transfronterizos. El sistema acuífero más estudiado es el del Orinoco.

Así como el potencial de aguas subterráneas es alto en el país, también existe la amenaza de contaminación y agotamiento, por ejemplo, en los acuíferos de Sincelejo (Corozal y Morroa) y en ciertos sectores de la Sabana de Bogotá, los niveles dinámicos han decaído aceleradamente en poco tiempo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Las reservas de aguas subterráneas colombianas corresponden al 72% de la oferta total de agua superficial y subterránea; y aunque el consumo del sector agrícola ha disminuido respecto a los otros sectores, aún sigue liderando el consumo de aguas subterráneas a nivel nacional, mientras que el sector industrial tuvo un aumento significativo (figura 5).

Figura 5. Uso de agua subterránea por sectores



Fuentes: ENA 2014 y ENA 2010

La explotación de las reservas se hace a través de aljibes (55%), pozos subterráneos (25%), manantiales (4%) y otros (16%). En total, es estimado un volumen de extracción de 4.000 millones de m³ de aguas subterráneas, que corresponde al 12% de la demanda total (Ministerio de Ambiente & Ideam, Instituto de Hidrología, 2014).

Contaminación

Las aguas subterráneas, por su ubicación en el subsuelo, en mayor manera están más protegidas a la contaminación directa que las aguas superficiales; sin embargo, cuando se contaminan es casi irreversible devolverlas a su estado natural (Rueda & Betancur, 2006). La calidad natural del agua subterránea varía entre acuíferos, pero es típicamente de excelente calidad química, física y biológica. No obstante, puede estar compuesta de concentraciones de hierro,

magnesio, arsénico, boro, fluoruro y sales, entre otros, que la hacen no apta para algunos usos (Association of Hydrogeologists Commission on Managed Aquifer Recharge, 2005b).

Cuando los mecanismos de carácter físico, químico y biológico no pueden ejercer sus acciones depuradoras se produce la contaminación; estos cambios obedecen a la extracción de agua subterránea, al aumento de la recarga, al riego, a cambios en el uso de la tierra, a las actividades agrícolas y forestales, urbanización, minería y disposición de residuos; y en las costas se pueden ver afectadas por la intrusión salina (Association of Hydrogeologists Commission on Managed Aquifer Recharge, 2005a; Montolio, Valls, & Sanz, 1979).

Las vías por las que las sustancias llegan a los acuíferos contaminando las aguas subterráneas son muy diversas: infiltración de sustancias depositadas en superficie o de la lluvia a través de ellas; filtración de sustancias almacenadas en el subsuelo o disolución de estas por el agua subterránea; filtración desde un río; derrames accidentales de depósitos o conducciones, superficiales o enterrados, a través de captaciones abandonadas o mal construidas; por medio de captaciones; por inyección de pozos o desde otros acuíferos (Peralta & López Sardi, 2012).

Los derrames y las fugas de hidrocarburos son unos de los mayores contaminantes de agua subterráneas, en particular los hidrocarburos líquidos en fase no acuosa (NAPL) que pueden llegar a los niveles freáticos y formar capas espesas de hasta más de un metro (en fase libre) (Huaiquilaf, 2008).

Cuando un acuífero está sobreexplotado puede poner en peligro los aprovechamientos existentes y un deterioro grave de la calidad como consecuencia del descenso de los niveles piezómetros continuos y progresivos que pueden secar los pozos (Montolio *et al.*, 1979).

Los bombeos en los pozos también pueden originar un avance de la interfaz del agua dulce y del agua salada, al modificar la calidad de los acuíferos de agua dulce, principalmente, y otros problemas ligados como la subsidencia del terreno (cambios en el estado tensional del terreno, causantes de hundimientos en la superficie), la desconexión de acuíferos antes conectados entre sí y con ríos, la reducción del caudal, el secado de los manantiales, la disminución de la humedad del suelo en donde la vegetación freatófila no pueda sobrevivir, etc. (Llamas, 2011).

La magnitud de la alteración de un acuífero por contaminación va a depender de varios factores, tales como el tamaño de la zona afectada, la cantidad del

contaminante implicado, su solubilidad, toxicidad y densidad, así como de la composición mineral, las características hidrogeológicas del área por donde se transporta, y del tipo de contaminación: difusa (abonos agrícolas, productos físanitarios (insecticidas, herbicidas, acaricidas y fungicidas)) o puntual.

Cambio climático y aguas subterráneas

La variabilidad climática y los fenómenos naturales extremos modifican la disponibilidad de agua y aumentan las situaciones adversas para la sociedad; algunas áreas sufren sequías y otras inundaciones (Arias Salguero, 2003; Ministerio de Ambiente & Ideam, Instituto de Hidrología, 2014).

El aumento de la precipitación en periodos cortos de tiempo puede provocar una saturación del suelo y, por consecuencia, escorrentía superficial que facilitaría también los deslizamientos. Por otra parte, las altas temperaturas y la evaporación prolongada provocará una sequía generalizada en el suelo y una reducción en la disponibilidad del agua dulce (Arias Salguero, 2003).

Figura 6. Efectos del cambio climático



Fuente: Arias, 2003.

Como tal, el ciclo hidrológico está influenciado por los factores climáticos. La infiltración causada por la precipitación, es una de las principales fuentes de recarga a las aguas subterráneas; provoca una afectación sobre los niveles freáticos y puede temporalmente afectar el almacenamiento del agua en los

acuíferos. Por su parte, los pozos de los acuíferos libres se verán más afectados en épocas más secas (Arias Salguero, 2003).

Las aguas subterráneas resultan ser una de las más afectables al cambio climático por sus particularidades en el contexto del ciclo hidrológico. Principalmente por la recarga, pero también en zonas costeras donde el ascenso del nivel del mar provoca intrusión salina (Hernández, 2011).

En el caso de las regiones semiáridas y áridas, los recursos hídricos subterráneos tienen un doble riesgo, puesto que los alcances de las consecuencias del cambio climático son inciertos. Los procesos naturales de descarga, recarga, almacenamiento y calidad, podrían verse afectados por las acciones del ser humano, como un aumento de la extracción de agua subterránea debido a la mayor frecuencia y duración de las sequías.

Así, la proyección del cambio climático para algunas regiones se manifestará con el aumento prolongado de la temperatura, una variabilidad de la precipitación (en tiempo, espacio e intensidad), y una mayor probabilidad de sequía, lo que influye directamente en la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos (Iglesias, Garrote, Flores, & Moneo, 2007).

En los escenarios del cambio climático, los recursos hídricos disponibles disminuyen mientras la demanda aumenta. Por eso, la gestión de los recursos es fundamental para enfrentar las altas presiones de desarrollo, las poblaciones en aumento y las altas demandas agrícolas (Iglesias *et al.*, 2007).

Gestión integral del agua

La escasez de agua y la sequía tienen implicaciones multidimensionales para la sociedad y, por lo tanto, no una sola acción de gestión, legislación o política puede responder a todos los aspectos y demandas. Los recursos de agua subterránea desempeñan un papel vital en el cumplimiento de las demandas de agua, no solo la calidad y cantidad, sino también son de vital importancia para aliviar los efectos cuando no se tiene otra fuente hídrica (Iglesias *et al.*, 2007).

Para la planificación del desarrollo sostenible de las aguas subterráneas se debe considerar una gestión integral del recurso hídrico subterráneo (Girhs). Esta gestión debe evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación y a la sobreexplotación, en relación con las dinámicas sociales y climáticas (Rueda &

Betancur, 2006), además de la implementación de políticas públicas rigurosas que mitiguen los riesgos y las amenazas (Vargas Martínez, 2006a).

En particular, la gestión del agua se ha convertido en un factor geopolítico de poder; el desarrollo económico, la industrialización, el crecimiento poblacional, la industria agraria, la deforestación y la contaminación, todos estos factores han vuelto al sistema hídrico cada vez más vulnerable y escaso, por lo que, a futuro, la problemática hídrica será prioridad en la agenda económica y social de cada gobierno (Nieto, 2011).

En Colombia, el programa nacional de aguas subterráneas se encuentra dentro de plan hídrico nacional, y se refiere a las políticas de explotación de recursos hídricos, el uso y estado de equilibrio en cantidad y calidad, y su uso sostenible. Este programa también implementa el aprovechamiento eficiente, la prevención y el control de contaminación hídrica, al considerar la armonización de los aspectos sociales, económicos y ambientales que inciden en dicha gestión. Todo ello lo hace mediante redes de monitoreo de niveles y calidad química y microbiológica, a través de modelación matemática del flujo de las aguas subterráneas en régimen permanente como herramienta prospectiva, y del seguimiento de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos, para el análisis de la relación a la recarga y extracción.

La Unesco también propone en el documento “La Gestión de la Recarga de Acuífero”, en donde se manifiesta que la gestión del agua subterránea resulta una importante contribución para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, especialmente en comunidades pequeñas de zonas áridas y semiáridas, porque reduce de la pobreza, reduce el riesgo económico y salud, y aumenta el número de cultivos y las retribuciones económicas (Association of Hydrogeologists Commission on Managed Aquifer Recharge, 2005a).

De esta forma, se aclara que las políticas que están relacionadas con las aguas subterráneas en el país son:

- Código Nacional de los Recursos Naturales - Decreto Ley 2811 de 1974
- Decreto 1541 de 1978 – Reglamenta el uso de aguas superficiales y subterráneas
- Ley 99 de 1993 – Sistema Ambiental de Colombia

- Decreto 1220 de 2005 – Licencias ambientales
- Ley 373 de 1997 – Ahorro y uso eficiente del agua en Colombia
- Decreto número 1575 del 2007 – Establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano
- Ley 142 de 1994 – Servicios públicos domiciliarios
- Decreto 901 de 1997 – Tasas retributivas por uso de agua
- Decreto 1594 de 1984 – Normas de calidad de agua
- Decreto 1449 de 1977 – Conservación y protección del recurso hídrico
- Decreto 1843 de 1991 – Disposiciones sobre plaguicidas
- Política integral para la gestión del recurso hídrico, 2010

Conclusiones

Las aguas subterráneas desempeñan un papel protagónico en el mundo, y aunque están propensas a impactos negativos, también son innumerables los beneficios que traen para zonas en donde el estrés hídrico está presente. De ahí la importancia de conocer su ocurrencia, distribución y sus principales características hidráulicas, hidrológicas e hidrogeoquímicas, para pretender mejor una posible sostenibilidad (Ministerio de Ambiente & IDEAM, Instituto de Hidrología, 2014).

Una buena gestión integral del agua (superficial y subterránea) retornará a futuro los servicios ecosistémicos, esenciales para lidiar con el cambio climático que puede tener impactos negativos sobre los acuerdos de posconflicto o procesos de paz en el país, particularmente en las zonas rurales donde el conflicto armado ha tenido repercusión sobre la pobreza (López *et al.*, 2009).

La vulnerabilidad se puede disminuir al compatibilizar la conservación con el desarrollo socioeconómico, con estrategias de mitigación y adaptación, mejorar las capacidades humanas e institucionales, los conocimientos técnicos, la implementación de tecnologías limpias e identificar las actividades que más impactan a los acuíferos (Peralta & López Sardi, 2012; Vargas Martínez, 2006b).

La falta de capacidad de los Estados, la ausencia de oportunidades vitales y el desarrollo humano en contextos donde los recursos naturales son escasos o

abundantes, atrae conflictos (Ramos Suárez, Muñoz, & Pérez, 2017). Los conflictos, como las actividades económicas, están alrededor del agua (Garrido, Martínez-Santos, & Llamas, 2006).

Por último, se deberían incorporar medidas de gestión enfocadas a la sequía con monitoreo de alerta temprana, también se sugiere fortalecer la cooperación regional y transfronteriza (Iglesias *et al.*, 2007); gestionar el riesgo de escasez de agua con un enfoque de crisis; promover los métodos de recarga natural y artificial de acuíferos en zonas áridas (y de estrés hídrico) (Hernández, 2011) y devolver el ciclo hidrológico a las zonas urbanas.

Referencias bibliográficas

- Arias, M. E. (2003). Efectos del cambio climático en las aguas subterráneas. Trabajo presentado en Aplicación del Desarrollo Sostenible en la Adaptación del Cambio Climático, San José, Costa Rica.
- International Association of Hydrogeologists Commission on Managed Aquifer Recharge. (2005). *Estrategias para la Gestión de Acuíferos (GRA) en zonas semiáridas*. Recuperado de: <http://era-mx.org/biblio/EstrategiasGestiondeRecargaAcuiferos.pdf>
- Collazo, P., y Montaña, J. (2012). Manual de Agua Subterránea. Montevideo, Uruguay: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Recuperado de: http://www.ose.com.uy/descargas/reclutamiento/ci_0006_16_manual_agua_subterranea.pdf
- Fuentes, J. L. (1992). *Aguas subterráneas*. España: Ministerio de Agricultura.
- Gálvez, J. J. (2012). *Aguas subterráneas-Acuíferos*. Cartilla técnica. Lima. Recuperado de: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf
- Garrido, A., Martínez-Santos, P., & Llamas, M. R. (2006). Groundwater irrigation and its implications for water policy in semiarid countries: the Spanish experience. En *Hydrogeology Journal*, 14(3), pp. 340-349. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0006-z>

- Hernández, M. A. (2011). *Aguas subterráneas y cambios climáticos*. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26956/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Huaiquilaf, B. C. (2008). Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. En *Ciencia Ahora*, 22(11), pp. 20-29. Recuperado de: <http://www.ceiucaweb.com.ar/documentos/2-ambiental/3er-anio-1er-cuatri/geologia/apunte/Extra/FLNA.pdf>
- Ideam. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., & Moneo, M. (2007). Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean. En *Water Resources Management*, 21(5), pp. 775-788. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9111-6>
- Llamas, M. (2011). *Aprovechamiento Sostenible de Aguas Subterráneas en España*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/56908030/Aprovechamiento-Sostenible-de-Aguas-Subterranas-en-Espana>
- López, J. A., Fórnes, J. M., y Ramos, G. (2009). Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegralDelRecursoHidrico/pdf/Presentación_Política_Nacional_-_Gestión_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2009). *Diagnóstico de las Aguas Subterráneas*. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=540:plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-26>
- Montolio, T., Valls, M., y Sanz, M. (1979). Contaminación de aguas subterráneas. En *Millars: Revista Del Colegio Universitario de Castellón de La Plana*, 6, pp. 167-205.
- Nieto, N. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. *Política y cultura*, (36), 157-176.

- Parlamento Europeo, Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (23 de octubre de 2000). Se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Recuperado de: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/r6-dir2000-60-ce.html
- Peralta, A., y López Sardi, E. M. (2012). Los acuíferos de nuestro país: un tesoro para las generaciones venideras. En *Ciencia y Tecnología*, 12, pp. 73-82. Recuperado de: <http://dspace.palermo.edu/dspace/bitstream/handle/10226/1332/Art%20%20CyT%2012%20%20L%C3%B3pez%20Sardi%20Acu%C3%ADferos%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos Suárez, E., Muñoz, C., y Pérez, G. (2017). *La gobernanza de los recursos naturales y los conflictos en las industrias extractivas: el caso de Colombia*. Recuperado de http://repository.eclac.org/bitstream/handle/11362/42173/S1700418_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rueda, O., y Betancur, T. (2006). Evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea en el bajo caucaantioqueño. En *Avances en Recursos Hidráulicos*, 13. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/1450/145017291005/>
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). Cartilla técnica: aguas subterráneas - acuíferos. Recuperado de: http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf
- Unesco. (2006). *El Agua: una responsabilidad compartida, 2º informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409S.pdf>
- Vargas Martínez, N. O. (2006). Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia. En *Boletín Geológico y Minero*, 117(1), pp. 47-61. Recuperado de: http://www.igme.es/Boletin/2006/117_1_2006/Art.4.PDF
- Werner, J. (1996). *Introducción a la hidrogeología*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.



REFERENTE CONCEPTUAL DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DE PUERTO BOYACÁ

Edgar Ricardo Monroy Vargas¹

Carlos Javier Obando²

Víctor Manuel Peñaranda Vélez³

¹ Ph. D. Universidad Piloto de Colombia.

² M. Sc. Fundación Agraria de Colombia.

³ Ph. D. (c) Universidad Nacional de Colombia

Resumen

Las aguas subterráneas desde siempre se han venido utilizando como alternativa de abastecimiento frente a las aguas superficiales. Normalmente, el volumen de agua almacenado en los acuíferos es muy grande, comparado con el flujo de recarga, esto implica que el tiempo de residencia de las aguas subterráneas de los acuíferos sea muy superior al de las aguas superficiales en su reservorio (ríos y lagos). El acuífero de Puerto Boyacá en Colombia, ubicado en una zona azotada por la violencia a raíz del conflicto armado entre el gobierno nacional y las Fuerzas Revolucionarias de Colombia (FARC), abastece de este preciado líquido, en un alto porcentaje, al municipio que lleva su mismo nombre, razón por la cual, es preciso conocer su comportamiento a través de una aproximación conceptual del modelo hidrogeológico que gobierna el flujo, a partir de la identificación y la evaluación de las principales variables geológicas, hidrológicas y climáticas; en aras de desarrollar un debido seguimiento y control del manejo y comportamiento de este acuífero por parte de la autoridad ambiental.

Introducción

En la actualidad, el municipio de Puerto Boyacá es una zona ubicada en el departamento de Boyacá en Colombia, y que por años fue azotado por la violencia, producto de la mortífera guerra sostenida por Colombia y el grupo insurgente denominado: Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC). Por otro lado, en un alto porcentaje, el consumo de agua de sus habitantes se hace a través del acuífero que subyace sobre sí, y del cual no se precisa la extensión que se encuentra hoy por hoy bajo explotación. Las zonas de recarga, volúmenes de agua, volúmenes de extracción, volúmenes de recarga, fuentes superficiales que apoyan su recarga y posibles fuentes y puntos de vulnerabilidad a la contaminación, representan los componentes técnicos que sustentan la formulación de un modelo hidrogeológico conceptual, apoyados

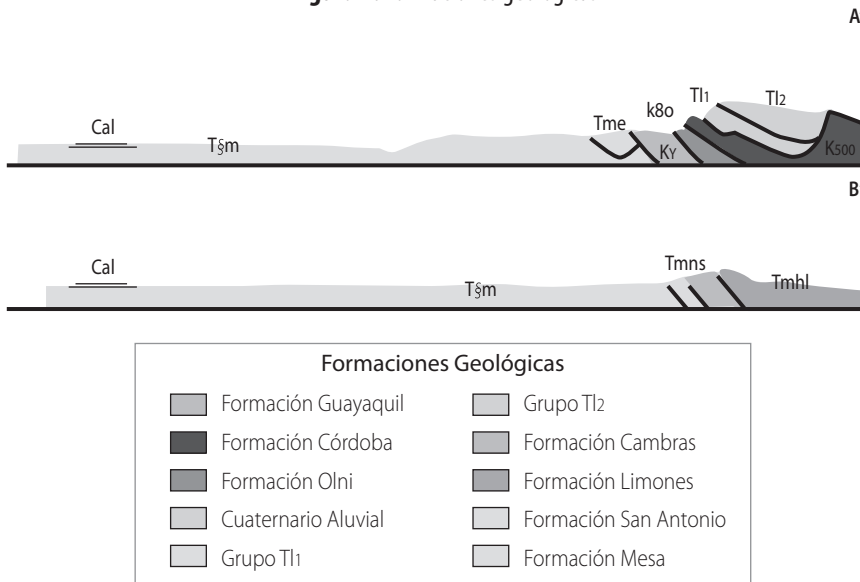
igualmente en factores sociales, culturales y económicos propios de una zona de posconflicto (Monroy, 2009). En ese orden de ideas, se abordará inicialmente una descripción general del modelo geológico básico del acuífero de Puerto Boyacá, posteriormente, se estudiará la hidrología de la zona de estudio para, finalmente, desarrollar a partir de estos conceptos la aproximación conceptual del modelo hidrogeológico que gobierna este acuífero.

Materiales y métodos

Modelo geológico básico

El municipio de Puerto Boyacá se encuentra en una zona de la cuenca del Valle Medio del río Magdalena, al cual pertenecen dos zonas geológica y geomorfológicamente distintas. Su configuración es de tipo continental, con predominio de ciclos de sedimentación y tectonismo, dentro de un relleno interior fracturado, en cuya evolución se han desarrollado diferentes estilos tectónicos y estructurales (Monroy, 2009). Un perfil geológico desarrollado en una investigación previa, a partir de la información disponible, se muestra en la figura 1.

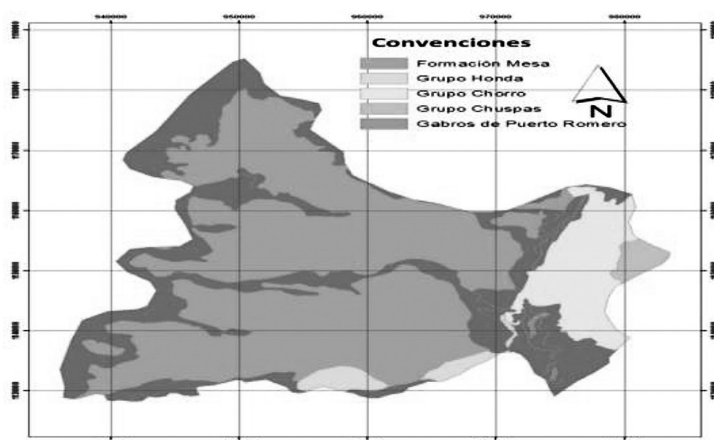
Figura 1. Formaciones geológicas



Fuente: elaboración propia.

A partir de la configuración geológica y climática, en la zona de estudio se destacan paisajes de montaña, lomerío y valles aluviales. Geológicamente, esta zona está constituida por rocas del Neógeno, cubiertas en gran parte por depósitos recientes, o del Cuaternario. Así, el área de estudio está conformada por rocas sedimentarias de la formación mesa, depósitos aluviales y formaciones asociadas al piedemonte de la cordillera oriental (ver figura 2).

Figura 2. Adaptación de plancha Geológica 146 y 169, IGAC



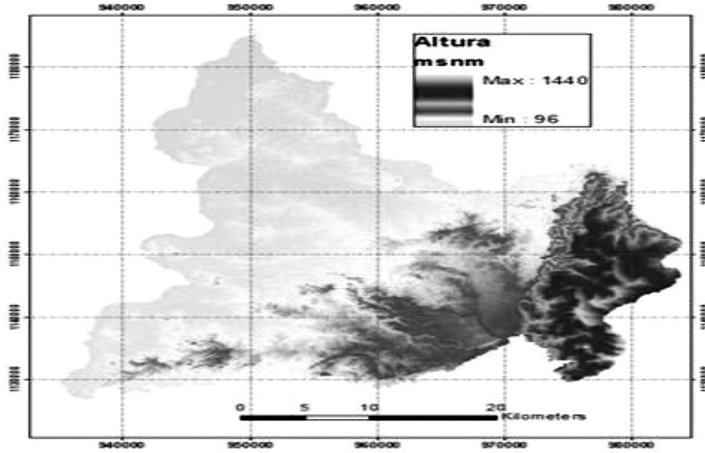
Fuente: IGAG.

La parte inferior de la formación Mesa se considera de la edad del Plioceno inferior, mientras que la superior se podría incluir en el Pleistoceno, según De Porta (1966), citado por Rodríguez y Solano, 2000. Esta está conformada por rocas, gravas y arenas (con intercalaciones de capas de arcillas), las gravas están compuestas por cantos de cuarzo y fragmentos de rocas sedimentarias (principalmente *chert*), rocas metamórficas y volcánicas, con predominio de las últimas; y tienen un espesor de 350 m. (Rodríguez y Solano, 2000). Dicha unidad aflora en un 70% del área del municipio de Puerto Boyacá y actúa como barrera lateral a los depósitos cuaternarios (Alcaldía de Puerto Boyacá, 2004).

Hidrología área de estudio

Para la delimitación de las cuencas y los cálculos de parámetros de forma de las mismas, se utiliza un modelo de elevación digital (MED), ilustrado en la figura 3.

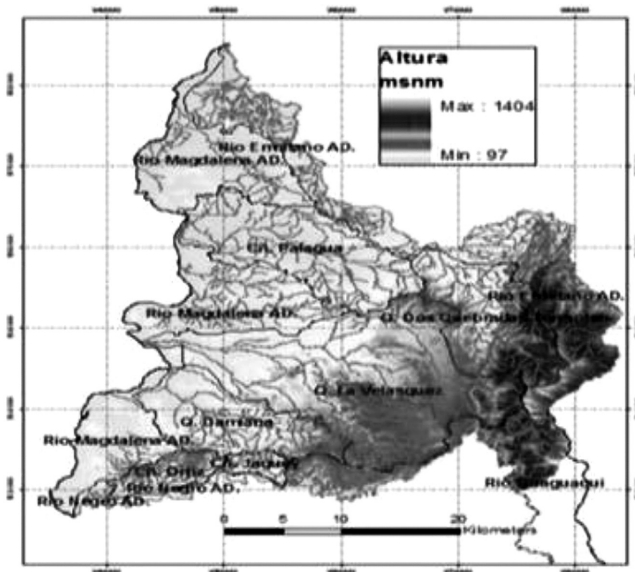
Figura 3. Delimitación de las cuencas



Fuente: elaboración propia.

El MED consiste en una matriz georreferenciada, en la cual se almacenan los valores de la cota del terreno. Puerto Boyacá se encuentra dividido en 10 subcuencas, incluida una porción del río Magdalena. En la figura 4 se presentan las subcuencas del área de estudio.

Figura 4. Subcuencas del área de estudio



Fuente:
elaboración
propia.

A partir de la información anterior, se ha determinado que las subcuencas se encuentran en un piso térmico cálido, con la excepción de la parte alta de cuatro de estas 10 subcuencas que superan los 1.000 msnm. Adicionalmente, se determinó que las pendientes medias varían entre un 4% y un 6%, lo que indica que la zona es plana en su mayoría.

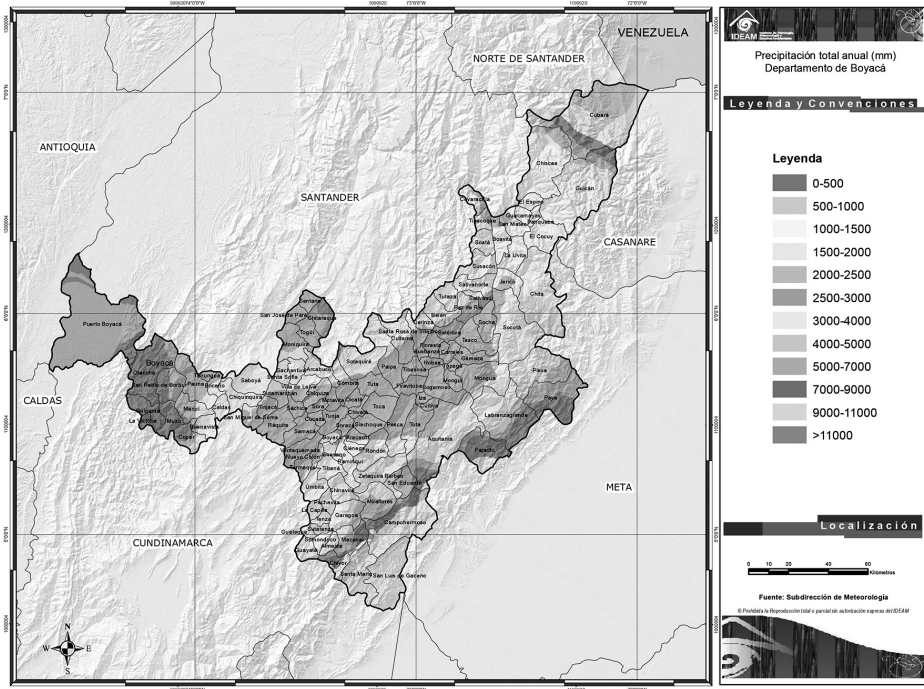
Diversos análisis fueron conducidos hacia la caracterización estadística del agua superficial en la cuenca en estudio, con el ánimo de entender las fuentes de admisión o de recarga del acuífero que subyace sobre el municipio de Puerto Boyacá. La escala de análisis parte desde niveles medios mensuales y se resumen a la escala media anual multianual. El estudio hidrológico general parte desde la identificación de los componentes geomorfológicos de la cuenca, la caracterización de variables físicas (e.g., precipitación, temperatura, escorrentía superficial) y la construcción del modelo de balance hídrico. Al partir de la información de las precipitaciones totales mensuales, de la evapotranspiración mensual estimada y de la escorrentía media mensual, se construyó el balance de agua en el suelo a lo largo del periodo de estudio (Rodríguez *et al.*, 2010). Dicho balance hídrico se construyó a partir del modelo de Thomas (1983).

Climatología general

La cuenca del río Magdalena y demás quebradas se localizan a una altura media sobre el nivel del mar entre los 97 msnm y los 320 msnm, con la excepción de cuatro quebradas, entre las que se destaca la de Guaguaquí y que se aproxima a los 1.440 msnm. La clasificación climática se realizó aplicando el criterio de Thornthwaite, el cual establece dos índices para la precipitación y la temperatura efectiva. De acuerdo con lo anterior, y a partir de la información climatológica disponible de registros históricos de precipitación y temperatura media anual multianual, se establece en la zona de estudio un clima húmedo (PE = 92,1) con una temperatura media anual de 27 °C y una precipitación media anual de 2.000 mm (e.g. ver figura 5).

Entre otras variables climáticas, la humedad relativa adopta un valor medio mensual del 78,3%, el número de total de horas de brillo solar anual es de 1.802 horas con un promedio mensual de 152 horas. La presión de vapor del aire húmedo es de 12,8 Mb. La velocidad media del viento es de 1,9 m/s, para un recorrido del viento en 24 horas de 160 km.

Figura 5. Precipitación media mensual multianual de la estación Puerto Boyacá



Fuente: Ideam.

Método directo de balance hídrico

Los resultados que se presentan, dan a conocer una fuerte disparidad climática entre los sectores, infiriéndose que la parte baja de las cuencas de estudio se ve afectada por mayores temperaturas que traen, como efecto, mayor evapotranspiración, al superar los niveles observados en la parte alta de las subcuencas, en más de 100 mm.

Para efectos de aplicación de los modelos de balance, se adoptan los valores producidos por la estación Puerto Boyacá (Alcaldía de Puerto Boyacá, 2004), por su cercanía a las estaciones hidrométricas empleadas en el estudio. De los resultados que se derivan de la aplicación del método directo del modelo de balance, se puede distinguir que la cuenca del río Magdalena posee, potencialmente, una gran capacidad de almacenamiento o retención de flujo

por detenciones temporales (e.g. por almacenamiento en depresiones y por infiltración efectiva). Estos valores preliminares estimados son cuantías puntuales para la estación climatológica ordinaria de Puerto Boyacá (Alcaldía de Puerto Boyacá, 2004), la cual se ha valorado como representativa del sector de estudio, dada su cercanía a los centroides de cada una de las subcuencas de análisis.

Modelo de balance de Thomas

“abcd” es un modelo de cuenca no lineal, el cual acepta la precipitación y la evapotranspiración potencial como entradas de modelo, produciendo la magnitud del flujo en la corriente hídrica de estudio. Internamente, el modelo también representa la humedad almacenada en el suelo, el almacenamiento subterráneo, la escorrentía superficial, las descargas de flujo procedente de acuíferos a las corrientes y la evapotranspiración actual. Este modelo, originalmente introducido por Thomas (1981) y Thomas *et al.* (1983), es una adecuada estructura matemática que permite evaluar el rendimiento regional del recurso hídrico al emplear una escala temporal mensual.

Este también ha sido sometido a diversas comparaciones con modelos mensuales de balance hídrico, al llevar los resultados a distinguirse por su estructura no lineal de respuesta hidrológica. Dada la discontinuidad en los registros hidrométricos en el periodo de estudio, el procedimiento de calibración se ha realizado con dos series de datos definidos por diferentes intervalos de tiempo. Para la cuenca del río Magdalena el primer escenario de calibración se define en el horizonte temporal que parte desde enero de 1999 a diciembre de 2001, y el segundo escenario desde enero de 2003 a diciembre de 2005. Los resultados de la modelación son moderadamente aceptables en su generalidad.

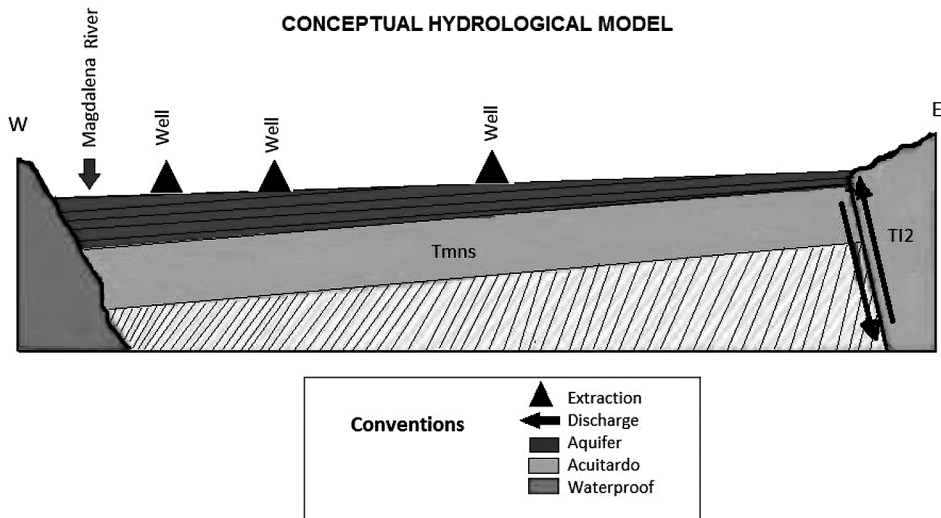
El parámetro “a” del modelo de Thomas indica una baja susceptibilidad de la cuenca a procesos de escorrentía, la cual deberá entenderse en función de las características geomorfológicas de la cuenca y la cobertura vegetal del mismo que favorece el desarrollo de los procesos de infiltración. La cuenca del río Magdalena guarda un alto grado de detención temporal del agua superficial que evidentemente se indica en el parámetro “b” de Thomas, valor representativo de la capacidad de la cuenca para mantener agua dentro del horizonte superior del suelo (e.g. en la zona no saturada). Para la cuenca del río en estudio, el parámetro “b” adopta un valor de 250 mm; el parámetro “c” identifica la proporción de los aportes de agua subterránea hacia la escorrentía superficial, la cual se establece

en 0,66 para la cuenca del río Magdalena. Por último, el parámetro “d” muestra que los tiempos de residencia del agua subterránea en la cuenca son muy altos, lo que conduce a pensar que existe un aporte de flujo muy lento de agua subterránea hacia la corriente principal.

Modelo hidrogeológico

Para desarrollar el modelo hidrogeológico conceptual, se hizo una caracterización hidrogeológica de las formaciones geológicas presentes en el área, se estableció su distribución lateral y en profundidad; se identificó su interrelación con los principales cuerpos de agua superficial y se evaluó la información hidrológica e hidrogeológica disponible (ver figura 6).

Figura 6. Modelo hidrogeológico conceptual



Fuente: Grupo consultor USTA-Corpoboyacá.

Estimación de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero de Puerto Boyacá

Existen varios métodos para evaluar la vulnerabilidad intrínseca de un acuífero: los métodos de matriz que utilizan parámetros muy seleccionados y solos tienen aplicabilidad local; y los métodos de puntuación (RS), en los que cada parámetro está dividido en clases a las que se atribuye una puntuación.

La metodología más destacada es la de GOD, donde en los métodos de puntuación y ponderación (PCSM), en los que además de asignar una puntuación, cada parámetro es multiplicado por un factor ponderador. Las metodologías más destacadas son Drastic, Sintacs, Epik y Galdit, y los métodos de relaciones analógicas (AR), como el AVI (Cavero, 2003).

Dentro de las metodologías más aplicadas que pueden encontrarse está el método Drastic (Aller *et al.*, 1987), en el que se clasifican y ponderan parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio y es el más difundido para determinar la vulnerabilidad de acuíferos. Drastic valora como parámetros los siguientes:

- D (profundidad del nivel piezométrico)
- R (recarga)
- A (litología del acuífero)
- S (naturaleza del suelo)
- T (pendiente del terreno)
- I (naturaleza de la zona no saturada)
- C (permeabilidad)

La gama de datos factibles se consignan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Grado de Vulnerabilidad Drastic	
Grado	Índice de vulnerabilidad
Muy bajo	23 - 64
Bajo	65 - 105
Moderado	106 - 146
Alto	147 - 187
Muy alto	188 - 230

Fuente: MAVD, 2010.

Según un estudio realizado por Alejandro García, Jeimy García y Viviana Solano (2016), los resultados de la vulnerabilidad intrínseca del acuífero de Puerto Boyacá con base en la metodología Drastic pueden apreciarse en la figura 7.

Por su parte, la recarga tiene su origen principalmente en la infiltración directa de la precipitación y de los cauces superficiales que circundan la planicie rural del municipio, por lo que las condiciones de recarga a partir del río Magdalena no son favorables, ya que el buzamiento de los estratos es en dirección contraria a la del citado río, en dirección oriente-occidente.

El modelo hidrogeológico conceptual resultante está integrado por los niveles de gravas y arenas de la formación mesa, la cual tiene niveles de arcillositas a diferentes profundidades y de diversos espesores. Esta formación reposa sobre la formación "los limones", considerada como un acuitardo y conformando un límite impermeable inferior.

El valor de la recarga en mm/mes es de 193,9 y se puede resaltar que la recarga solo supera la explotación en los pozos en dos meses del año, lo cual no es suficiente para compensar la demanda y, por tanto, se causa una disminución en el almacenamiento del acuífero, lo que genera un agotamiento progresivo del mismo. La descarga del acuífero se presenta hacia el río Magdalena, en las temporadas de niveles bajos del río y en los pozos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Finalmente, el flujo regional de agua subterránea es lento, debido a que no existe una amplia zona de descarga y la estructura geológica regional es de bajo buzamiento.

La información suministrada en relación con los caudales otorgados se sustenta en 14 pozos, lo que suma un total de 15.901 m³/día, equivalente a 184 l/s (Monroy, 2009). Este valor corresponde a la demanda total de agua subterránea de acuerdo con las concesiones otorgadas por Corpoboyacá (Corporación Autónoma Regional de Boyacá, 2010; Monroy, 2013).

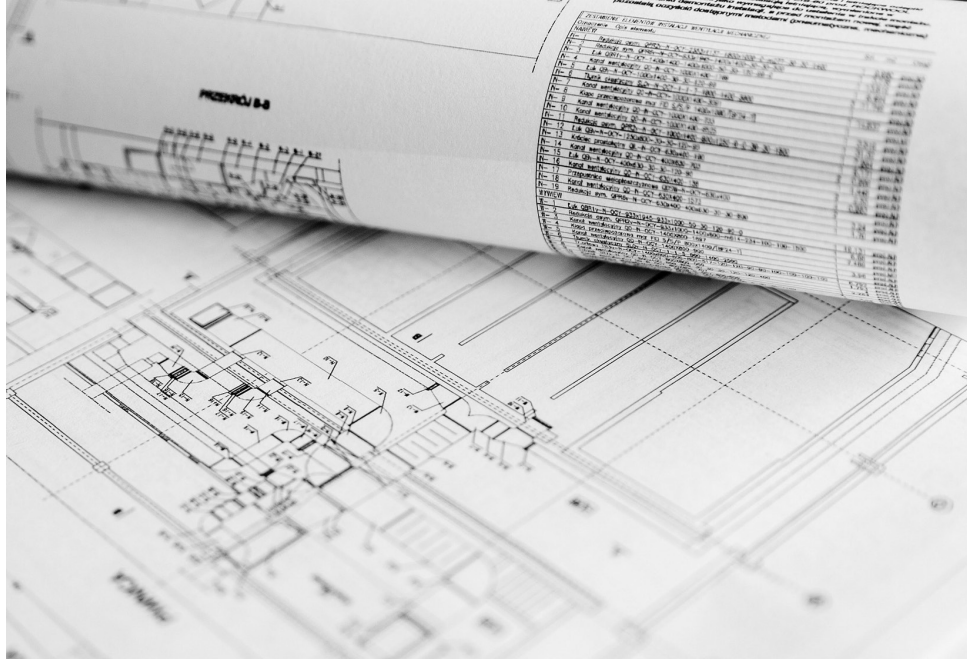
El descenso del nivel estático (pozos) indica que el volumen de extracción anual es superior a la recarga, es decir, existe una sobreexplotación, y con la actual tasa de bombeo no se puede garantizar un aprovechamiento sostenible de los niveles acuíferos. Del balance hídrico se infiere que la recarga anual es de 128.096 m³, siendo esta inferior a la descarga anual que se extrae mediante pozos, la cual es de 3.709.850 m³ (Monroy, 2009).

Al cruzar la información anterior con la data geológica, puede determinarse que el espesor efectivo del acuífero es aproximadamente de 153 m (Empresas Públicas de Puerto Boyacá, 2008), lo cual debe protegerse dada su sobreexplotación, a través de un plan de manejo y protección de aguas subterráneas (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

A partir de la formulación de este plan, en una etapa subsiguiente se podrá dar inicio al desarrollo de una metodología (Monroy y Pouey, 2017) que integre variables asociadas al cambio climático y sociales, a la luz del posconflicto, y que respondan a interrogantes futuros en el sentido de evaluar, cuantitativamente, la vulnerabilidad de este tipo de acuíferos y su impacto ambiental.

Referencias bibliográficas

- Cavero Panes, C. (2010). Análisis de métodos para la predicción de presión de poros aplicado a la estabilidad de pozos de perforación petrolera.
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá. (2004). *Estudio del Acuífero de Puerto Boyacá*, Tunja, Colombia.
- Ministerio del Medio Ambiente (2002). *Formulación de proyectos de protección integrada de aguas subterráneas - Guía Metodológica*. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente.
- Monroy, E. R. (2009). *Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero de Puerto Boyacá*. Bogotá, Colombia: Ediciones USTA.
- Monroy, E.R. (2011). *HidroGeological Model of the Puerto Boyaca's Aquifer*. Colombia: Universidad Santo Thomas.
- Monroy, E. & Pouey, N. (2017). New Environmental Indicator to Support Decision Making. En *Journal of Climatology and Weather Forecasting*, 5(1). Doi: 10.4172/2332-2594.1000188.
- Porta, J. D. (1966). Geología del extremo S del valle medio del Magdalena entre Honda y Guataqui (Colombia). *Boletino Geologico Facultad Petrologico Universidad ind. Santander*, 22(23), 5-347.
- Rodríguez, A. J., & Solano, O. (2000). Mapa Geológico del departamento de Boyacá, memoria explicativa. *Instituto Colombiano de Geología y Minería-INGEOMINAS, Bogotá*.
- Thomas, H. A., Marin, C. M., Brown, M. J. & Fiering, M. B. (1983). *Methodology for Water Resources Assessment*. Virginia, USA: US Geological Survey, National.
- Vargas, E. R. M., & Gonzalez, J. P. (2013). Modelo hidrogeológico conceptual y análisis de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Duitama Boyacá-Colombia. *In Vestigium Ire*, 3(1).



EVOLUCIÓN NORMATIVA DEL DERECHO AMBIENTAL Y DE AGUAS EN COLOMBIA

Edgar Ricardo Monroy Vargas¹

Cristina Yanneth Barón Hernández²

¹ Ph. D. de la Universidad Piloto de Colombia.

² Abogada. Mg. (E). Investigadora. UniSangil, Colombia.

Introducción

La contaminación de las aguas subterráneas provenientes de la actividad humana en el proceso de satisfacción de sus necesidades, es un problema de afectación mundial y local, dificultando en ascenso el acceso a la cantidad y calidad del agua, especialmente a las poblaciones más vulnerables, que de acuerdo a lo manifestado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma), en el *Informe sobre desarrollo humano 2006: Más allá de la escasez: Poder, pobreza y crisis*, describe que alrededor de 1.200 millones de personas se encuentran en áreas de escasez física de agua, es decir, la demanda es mayor al suministro; y alrededor de 1.600 millones de personas afrontarán situaciones de escasez económica de agua, entendido esto como la disponibilidad del recurso hídrico, pero sumado a la contaminación, los Estados no cuentan con la infraestructura necesaria para transportar el agua desde ríos y acuíferos.

Así mismo, el *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo* (2003) señala que: "únicamente el 2,53% del total es agua dulce y el resto es agua salada. Aproximadamente, las dos terceras partes del agua dulce se encuentran inmobilizadas en glaciares y en el abrigo de nieves perpetuas". En el mismo informe se menciona que los recursos de agua dulce son disminuidos por la contaminación dada por las aguas residuales, que a razón de un litro afecta ocho litros de agua dulce, lo cual se traducirá a mediados del siglo XXI, en el peor de los escenarios, en una escasez de agua en 60 países, esto es, 7.000 millones de personas, y en un panorama más alentador, será de 2.000 millones de personas en 48 países.

En el caso de Colombia, si bien se cuenta con recursos hídricos físicos, la escasez económica del agua es inminente¹, aunado esto a otros factores

¹ Véase el siguiente artículo como referencia: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/la-grafica/articulo/mapa-de-escasez-de-agua-en-el-mundo/243940>

como intereses económicos individualistas, indiferencia política, minería ilegal, la ignorancia, la ausencia de conciencia colectiva en el cuidado del medio ambiente, especialmente de las aguas subterráneas como recurso renovable esencial para la continuidad de la vida, y la existencia de numerosa normativa dispersa e insuficiente en torno a la protección de los acuíferos, siendo este último factor el objeto de estudio del presente capítulo.

Al Estado colombiano, dentro de sus deberes constitucionales referentes a la protección del medio ambiente, le corresponde garantizar a todas las personas el derecho a gozar de un ambiente sano (artículo 79), a planificar el manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales (artículo 80), entre otras, siendo irrefutable la defensa, la conservación y la protección del recurso hídrico en cabeza de todas las entidades y, puntualmente, de las corporaciones autónomas regionales, los departamentos y los municipios, como principales autoridades ambientales, para así mitigar el apremiante riesgo de escasez, el cual conduciría al país a condiciones de extrema pobreza, a la intensificación del conflicto armado, y a la desaceleración del crecimiento económico.

Si bien el medio ambiente se ha consolidado en un derecho constitucional fundamental² por conexidad, entre otros, con el derecho a la vida, la salud, la dignidad humana, además de ser inherente a la persona, corresponde a los asociados obligaciones correlativas al uso integral, racional y eficiente de los recursos naturales, deteriorados y destruidos en mayor medida por causas antropogénicas, alejadas de todo criterio de sostenibilidad y sustentabilidad.

La urgencia mundial de propiciar un medio ambiente sano que garantice la protección del agua por la crisis ecológica, se hace palpable en los Objetivos de Desarrollo del Milenio, promulgados por la ONU, y que requiere además de la alianza y cooperación entre los Estados, y de generar en Colombia un respaldo normativo garante del desarrollo sostenible para las nuevas generaciones, que propugne la continuidad de la especie humana.

¹ Véase Corte Constitucional, sentencia C-431 de 12 de abril de 2000, expediente D-2589, MP Vladimiro Naranjo Mesa.

² Véase Corte Constitucional, sentencia T-453 de 31 de agosto de 1998, expediente T-160038, M.P. Alejandro Martínez Caballero.

Evolución histórica normativa ambiental en Colombia, del Código Civil a la Constitución de 1991

El origen de regular la relación del hombre con la naturaleza data del derecho romano, el cual consideraba a los recursos naturales como “res communi”, protegiéndolos con el ordenamiento jurídico, por ser de beneficio para el ser humano.

Lo que importa a este respecto es que, efectivamente, existieron en Roma situaciones de protección de los recursos naturales por el propio ordenamiento jurídico romano, constituyendo algunas de ellas el antecedente más remoto de protecciones medioambientales que hoy en día se incluyen en esta rama del derecho administrativo que la doctrina viene a denominar derecho ambiental. (Ruiz-Pino, 2016).

Si bien en Colombia la protección al medio ambiente y el derecho de aguas se consolida a partir de la reforma constitucional de 1991, el referente normativo se citará a partir de la adopción del Código Civil en el año de 1887, el cual explícitamente determina la propiedad de las aguas y denota el atributo de uso público así:

Los ríos y todas las aguas que corren por cauces naturales son bienes de la Unión, de uso público en los respectivos territorios. Exceptúense las vertientes que nacen y mueren dentro de una misma heredad: su propiedad, uso y goce pertenecen a los dueños de las riberas, y pasan con estos a los herederos y demás sucesores de los dueños. (Código Civil, artículo 667).

Posteriormente, en la década de 1910, se radicó en cabeza del Estado la potestad para hacer la cesión del derecho de propiedad del agua a favor de establecimientos de beneficencia, y al departamento de Cundinamarca, como se visualiza en la Ley 33 de 1910 y en la Ley 63 de 1911 (Botero, 1939). Con la expedición del Decreto 932 de 1914, el Presidente de la República otorga al Ministerio de Hacienda el conocimiento de diversos negocios, entre ellos, la administración de las aguas nacionales en sus diferentes aplicaciones a las industrias agrícola y manufacturera (art. 2), derogando el Decreto 574 de 1905 que comisionaba a los consejos municipales, la reglamentación del uso y goce de las aguas (art. 1).

Con los decretos 1381 y 1382 de 1940 se reitera el carácter de bien de uso público de las aguas, al impedir cualquier medio traslativo de dominio,

prohibir su gravamen, y dar el carácter de supremo administrador de los bienes nacionales de uso público al Gobierno Nacional, a través del Ministerio de la Economía Nacional, ente encargado, entre otras funciones, de conceder licencias, concesiones o permisos, por periodos no mayores a veinte años y con el cumplimiento de los requisitos legales.

Bajo la presidencia de Mariano Ospina Pérez, se sancionó la Ley 80 de 1946, creadora del Instituto Nacional de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico, como entidad autónoma con personería jurídica, a cargo de administrar los bienes encomendados, en cuyo objeto cabe mencionar el estudio de las zonas del país susceptibles de ser regadas o desecadas económicamente, y de los proyectos sobre regulación de corrientes de agua y defensa contra la erosión producida por las mismas; estudio de las zonas del país susceptibles de ser electrificadas; financiación de empresas encargadas de adelantar esas construcciones, y que facilitan a las empresas departamentales, intendenciales o municipales, ya establecidas o que se establezcan, préstamos hasta por un 40% del valor de los ensanches y montajes que proyectaran. (artículo 2).

Adaptándose el exitoso modelo de Tennessee Valley Authority (TVA), el 22 de octubre de 1954 fue creada la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), encargada de liderar el uso racional del agua y desarrollo de los recursos naturales de la cuenca hidrográfica del alto cauca y las vertientes aldañas del Pacífico (Rodríguez, 1998), tarea continuada con la institucionalización de otras corporaciones en el periodo previo a la Constitución Política de 1991, entre las cuales cabe mencionar la CAR, creada el 31 de enero de 1954, la CRQ del 31 de diciembre de 1964, Codechoco del 22 de mayo de 1968, Corpourabá del 26 de diciembre de 1958, Cramsa del 23 de diciembre de 1971, CVS del 11 de octubre de 1973, CDMB del 19 de noviembre de 1979, Cortolima del 15 de enero de 1981, Corponariño del 15 de febrero de 1982, Corponor del 17 de diciembre de 1983, CRC del 23 de junio de 1983, CAP y Corpogujaira del 17 de diciembre de 1983, Corpocesar del 23 de diciembre de 1983, Cornare del 28 de diciembre de 1983 y Corpamag del 16 de marzo de 1988 (Rodríguez, 1988).

Con la Declaración de Estocolmo en 1972, producto de la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, a través de 26 principios se reconoce el derecho a un ambiente sano (Ortúzar, 2014), recomendando a los países atender lo allí expuesto por medio de legislación interna, propuesta tomada por Colombia, profiriéndose la Ley 23 de 1973, y

que bajo los preceptos de la Constitución de 1886, facultó al Presidente de la República a expedir el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, plasmado en el Decreto Ley 2811 de 1974, regulando la defensa del medio ambiente y estableciendo el carácter de utilidad pública e interés social en lo referente al manejo de los recursos naturales, estableciendo el manejo de las cuencas hidrográficas como áreas de manejo especial.

Ulteriormente, hubo un desarrollo normativo reglamentario del código, especificado en la siguiente tabla:

Tabla 1. Decretos reglamentarios del Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Decreto Ley 2811 de 1974	
Norma	Epígrafe
Decreto 877 de 1976	Por el cual se señalan prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de permisos y concesiones y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1449 de 1977	Por el cual se reglamentan, parcialmente, el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley N.º 2811 de 1974.
Decreto 1415 de 1978	Por el cual se crea la Comisión Conjunta para Asuntos Ambientales y se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973 y el Decreto - Ley 2811 de 1974.
Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas", y, parcialmente, la Ley 23 de 1973.
Decreto 1608 de 1978	Por el cual se reglamenta el Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y la Ley 23 de 1973 en materia de fauna silvestre.
Decreto 1715 de 1978	Por el cual se reglamentan parcialmente el Decreto- Ley 2811 de 1974, la Ley 23 de 1973 y el Decreto- Ley 154 de 1976, en cuanto a protección del paisaje.
Decreto 1875 de 1979	Por el cual se dictan normas sobre la prevención de la contaminación del medio marino y otras disposiciones.
Decreto 2104 de 1983	Por el cual se reglamenta parcialmente el título III de la parte IV del libro I del Decreto - Ley 2811 de 1974 y los títulos I y XI de la Ley 9 de 1979 en cuanto a residuos sólidos.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el título I de la Ley 09 de 1979, así como el capítulo II del título VI - parte III - libro II y el título III de la parte III - libro I del Decreto 2811 de 1974, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Decreto 2324 de 1984	Por el cual se reorganiza la Dirección General Marítima y Portuaria.

Con ocasión de la Cumbre de la Tierra, realizada en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992, y la participación de 172 países, se profirió la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la cual estableció los lineamientos de las políticas nacionales e internacionales para disfrutar de un ambiente sano (Arango, s.f., p. 99). De este modo, la influencia de la Cumbre, la nueva Constitución de 1991 incluyente de los derechos colectivos y del ambiente, y los inminentes problemas ambientales, se constituyeron en el impulso a la reforma ambiental del país.

Pero en el caso que nos ocupa, hay que subrayar que los procesos de expedición de los artículos ambientales de la Constitución de 1991, y de la Ley 99 de 1993, estuvieron rodeados de circunstancias excepcionalmente favorables que explican su reconocida calidad y pertinencia. En efecto, estas piezas legislativas se plantearon como respuesta a problemas detectados a través de finos diagnósticos de la situación de la institucionalidad ambiental del país y a los imperativos generados a nivel internacional por la Conferencia de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992); fueron el producto de una amplia consulta pública; estuvieron motivadas por la consecución de ambiciosas metas ambientales y sociales, y contaron para su formulación con equipos de expertos de reconocida trayectoria nacional y con la participación de reputados juristas internacionales. (Rodríguez, 2003, p.2).

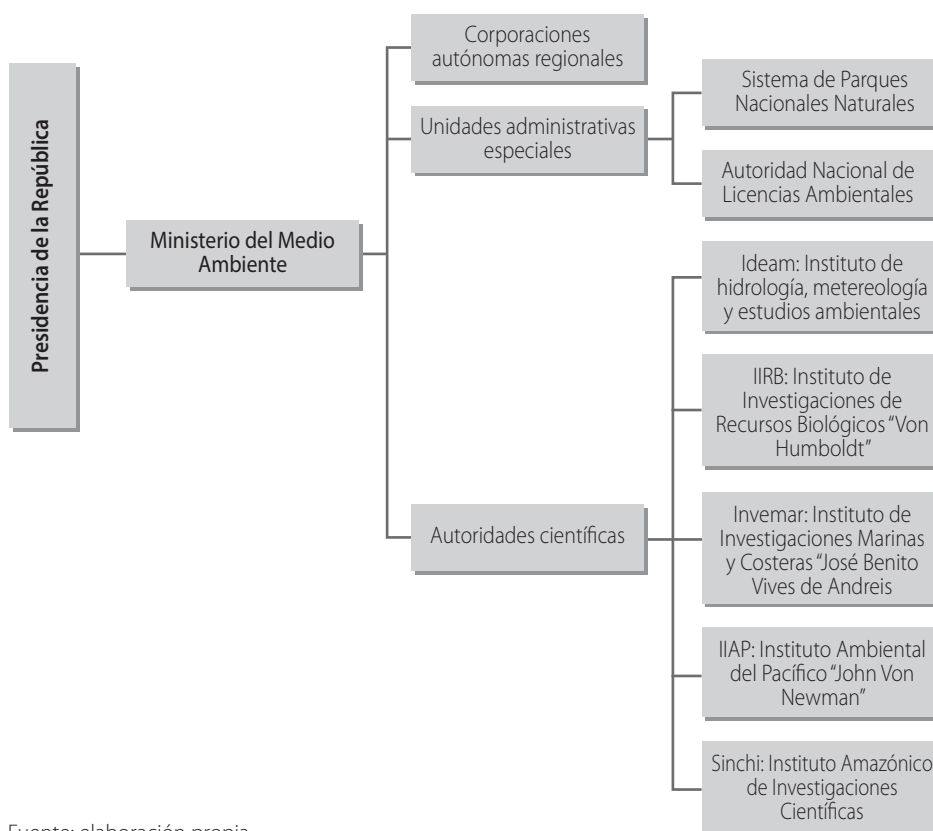
Así las cosas, surgió el proyecto de ley 129/92 (Senado), 67/93 (Cámara), "Por el cual se crea el Ministerio del Ambiente y se estructura el sistema público nacional del Ambiente", de autoría de Alfonso López Caballero, Ministro de Agricultura, y el proyecto 99/92 "Por la cual, se crea el Ministerio de Medio Ambiente y los Recursos Naturales y se constituye el Sistema Nacional Ambiental", propuesto por el senador Anatolio Quira (Informe Legislativo, 1992-1993).

Los proyectos quedaron compilados en la Ley 99 de 1993 o en el Código Nacional de los Recursos Naturales, que introdujo cambios como la reestructuración de la administración de la gestión y la conservación del medio ambiente, al suprimir el Inderena y en su lugar crear el Ministerio del Medio Ambiente y del Sistema Nacional Ambiental (art. 2); también se crea el Sistema Nacional Ambiental SINA (art. 4); se crea el Consejo Nacional Ambiental (art. 13); se organizan las entidades científicas adscritas y vinculadas al Ministerio del Medio Ambiente (art. 16); se crea el Ideam (art. 17); las Corporaciones Autónomas

Regionales dirigidas por la Unidad de Política Ambiental (UPA), perteneciente al Departamento de Planeación Nacional, fueron reestructuradas, otorgándole a las CAR el poder de administrar el medio ambiente y los recursos renovables (art. 23). También, se conservaron corporaciones como Carder, Corponariño, Corponor, Cortolima, CRQ, Cornare y CVS, y a su vez se crearon otras, por mencionar algunas como Corporinoquía, Corsucre, CAM, Corpochivor, Corpoboyacá (art. 33).

A su vez, surgieron autoridades ambientales adicionales como son los Grandes Centros Urbanos (GCU) (Ley 99, art. 66), conformados por los municipios, distritos y áreas metropolitanas con más de un millón de habitantes, con las mismas funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales, pero en el perímetro urbano y, posteriormente, es creada la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), a través del Decreto 3573 del 2011.

Figura 1. Sistema ambiental con la Ley 99 de 1993



Fuente: elaboración propia.

Marco normativo del recurso hídrico a partir de la constitución de 1991

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la Carta Magna propende por el derecho a un ambiente sano, por lo que en diversas jurisprudencias fue llamada la constitución ecológica:

La Constitución de 1991 modificó profundamente la relación normativa de la sociedad colombiana con la naturaleza. Por ello, esta corporación ha señalado, en anteriores decisiones, que la protección del medio ambiente ocupa un lugar tan trascendental en el ordenamiento jurídico que la Carta contiene una verdadera “constitución ecológica”, conformada por todas aquellas disposiciones que regulan la relación de la sociedad con la naturaleza y que buscan proteger el medio ambiente. Igualmente, la Corte ha precisado que esta Constitución ecológica tiene dentro del ordenamiento colombiano una triple dimensión: de un lado, la protección al medio ambiente es un principio que irradia todo el orden jurídico puesto que es obligación del Estado proteger las riquezas naturales de la Nación. De otro lado, aparece como el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano, derecho constitucional que es exigible por diversas vías judiciales. Y, finalmente, de la Constitución ecológica derivan un conjunto de obligaciones impuestas a las autoridades y a los particulares. (Sentencia C-126 de 1998).

El Ministerio del Medio Ambiente, como la nueva entidad estatal regente de la política ambiental, expide los “Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua” en 1996, definiendo allí las bases y los objetivos para manejar la oferta nacional del agua y atender los requerimientos sociales y económicos del desarrollo en términos de cantidad, calidad y distribución espacial y temporal. Así mismo, estableció las acciones para la protección de acuíferos, páramos, subpáramos, estrellas hidrográficas, zonas de recarga de acuíferos y demás reservorios de agua. “De conformidad con lo anterior, desde la expedición de los lineamientos de política, la gestión de las autoridades ambientales, en la mayoría de casos, ha estado centrada justamente en el agua, y de hecho, esta ha sido reconocida como el eje de la gestión ambiental”. (Ministerio de Ambiente, 2010, p. 14).

Al entrar a examinar el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, estatuido en la ley 1151 de 2007, se visualiza que fue específico en fijar como uno de sus objetivos esenciales: “Una gestión ambiental y del riesgo que promueva el

desarrollo sostenible, sustentado en la articulación adecuada de las dimensiones económica, social y ambiental” (artículo 1 literal e), siendo clara la prioridad de garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, con la cuenca hidrográfica como unidad de gestión, ahorro y uso eficiente del agua.

En consecuencia, se ejecutan acciones normativas inmediatas, entre ellas, la Resolución 2160 del 2007 con la cual el Viceministerio de Ambiente creó el Grupo de Recurso Hídrico, y el Sistema de Información del Recurso Hídrico mediante el Decreto 1323 del 2007, orientado en su estructuración en un trabajo interinstitucional con el Ideam y, con el Decreto 1324 del 2007, aparece el Registro de Usuarios del Recurso Hídrico (RURH).

Con el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, plasmado en la Ley 1450 del 2011, las autoridades ambientales definen las áreas estratégicas para la conservación de los recursos hídricos que surten los acueductos municipales, distritales y regionales (art. 210). En el mismo cuerpo normativo, artículo 215, se determina la competencia de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible, de los grandes centros urbanos y de los establecimientos públicos ambientales en gestión integral del recurso hídrico aplicable a:

- a) El ordenamiento del recurso hídrico, el establecimiento por rigor subsidiario, de normas de calidad para el uso del agua y los límites permisibles para la descarga de vertimientos.
- b) El otorgamiento de concesiones de aguas, la reglamentación de los usos del agua, el otorgamiento de los permisos de vertimiento y la reglamentación de los vertimientos.
- c) Fijar y recaudar conforme a la ley, las tasas, contribuciones y multas por concepto del uso y aprovechamiento del recurso hídrico.
- d) La evaluación, control y seguimiento ambiental de la calidad del recurso hídrico, de los usos del agua y de los vertimientos.
- e) La imposición y ejecución de las medidas de policía y las sanciones previstas en la ley.
- f) La formulación, ejecución y cofinanciación de programas y proyectos de recuperación, restauración, rehabilitación y conservación del recurso hídrico y de los ecosistemas que intervienen en su regulación.
- g) Formulación y ejecución de los proyectos de cultura del agua.

- h) Requerimiento y seguimiento a los planes de uso eficiente y ahorro del agua.
- i) Las demás que en este marco establezca el Gobierno Nacional.

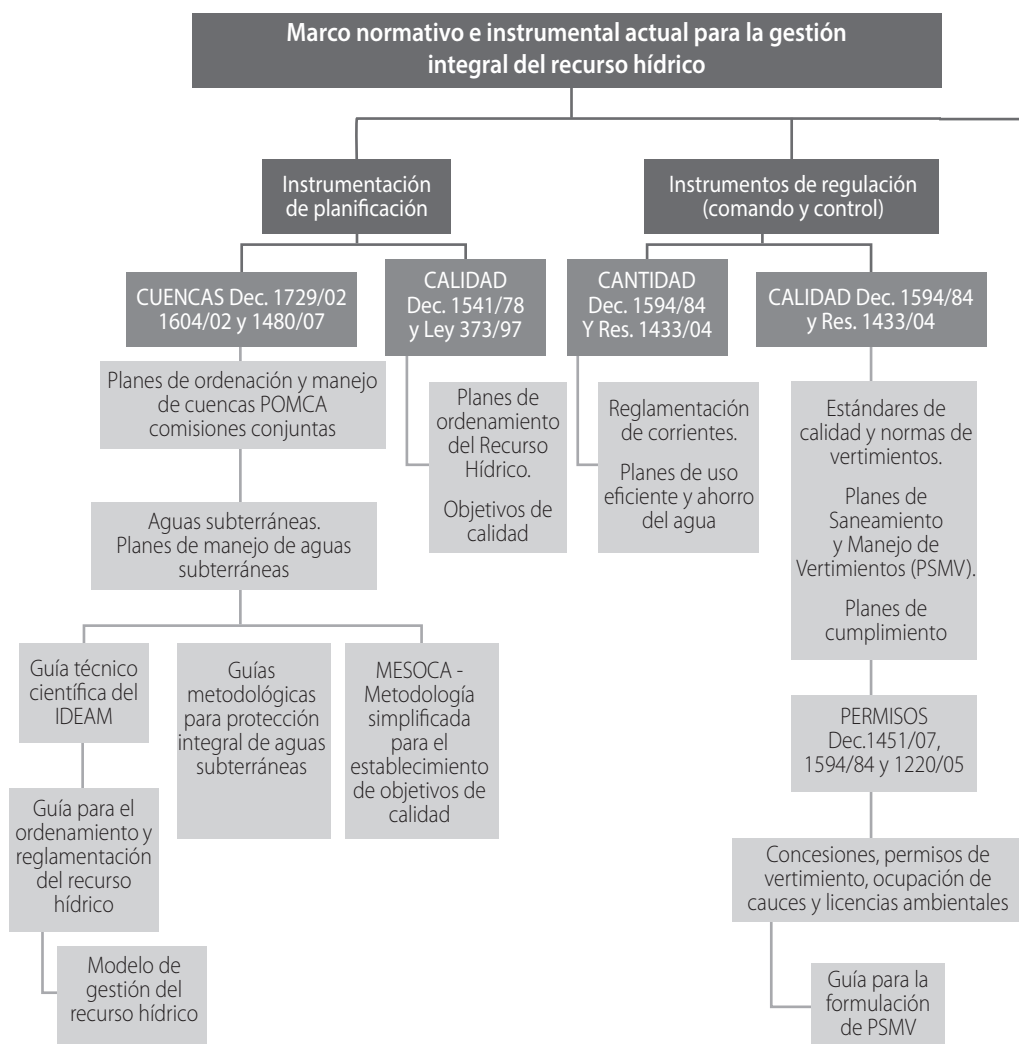
La ley 1753 del 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, trae como novedad la creación del Consejo Nacional del Agua “como un organismo coordinador de la gestión integral del recurso hídrico (...)” (art. 250), encargado de la coordinación de las políticas planes y programas para la administración del agua, cuyo objeto, conformación y funciones fueron reforzadas mediante el Decreto 585, del 5 de abril del 2017.

Otras disposiciones normativas referentes al recurso hídrico son el Decreto 1640 del 2012, enfocado a planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas y microcuencas, así como planes de manejo ambiental de acuíferos, la Resolución 196 del 2006 y la Ley 1450 del 2011, artículo 202, enfocada a planes de manejo de humedales y su delimitación; la Resolución 0839 del 2003, la Resolución 0937 de mayo del 2011 y el artículo 202 de la Ley 1450 del 2011, en lo concerniente al plan de manejo de páramos y su delimitación.

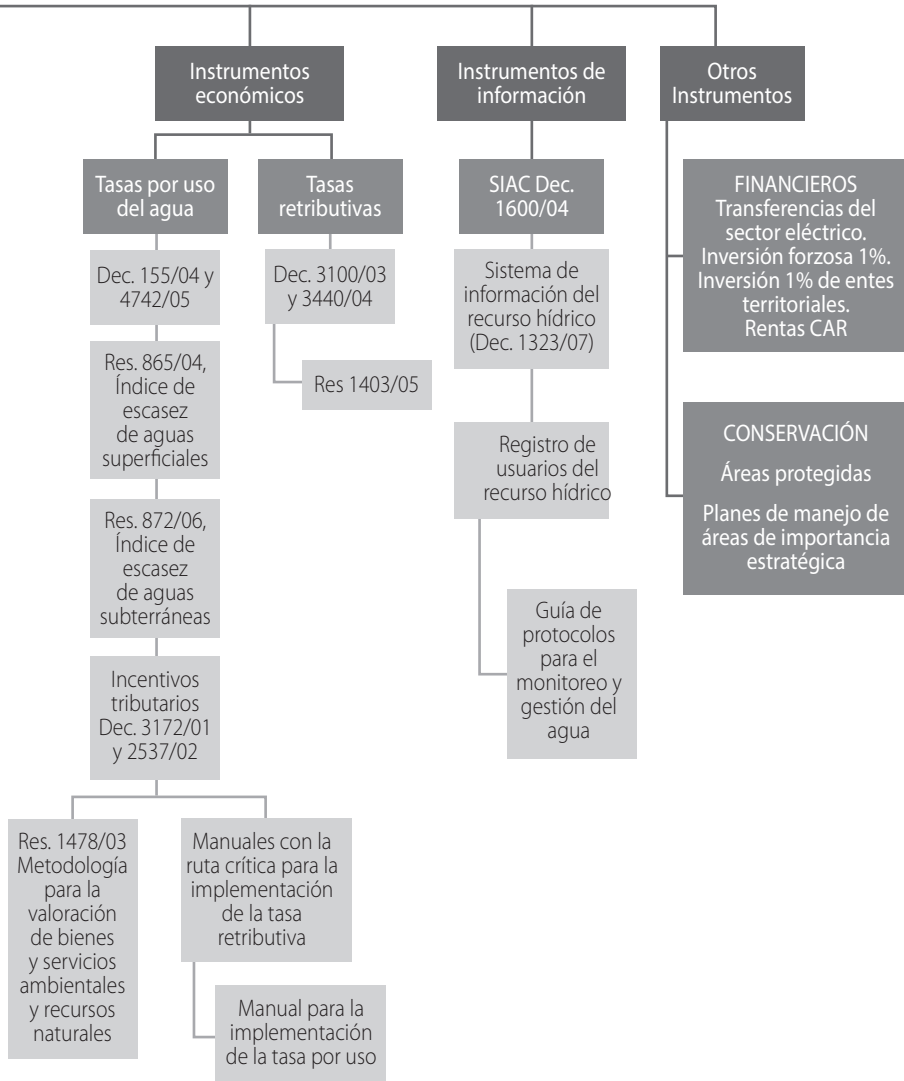
Las aguas subterráneas adquieren gran importancia como patrimonio natural; más aún si se tiene en cuenta que la mayor parte de los recursos hídricos utilizables en el planeta se encuentran en el subsuelo, y que Colombia presenta similares condiciones con un gran potencial de aguas subterráneas.

La importancia global del agua subterránea puede entenderse al observar las estadísticas sobre la disponibilidad de los recursos hídricos, que señalan que el 75% del planeta está cubierto por agua, de la cual el 97,5% se encuentra en los océanos. Del 2,5% del agua fresca restante, más del 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo, un 0,3% se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y, el 29,7% corresponde al agua subterránea, por lo que estas se consideran las mayores reservas de agua dulce disponible del planeta (...). Las aguas subterráneas son la mayor reserva de agua potable existente en las regiones habitadas por los seres humanos, representan más del 95% del total de las aguas dulces de todos los continentes e islas y son esenciales para mantener el caudal de base de muchos ríos y la humedad del suelo en las riberas y áreas bajas de las cuencas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014, p. 15).

Figura 2. Marco normativo e instrumental actual para la gestión integral del recurso hídrico



Fuente: MAVDT, Grupo de Recurso Hídrico, septiembre 2009



Las aguas subterráneas son definidas por el Decreto 2811 del 2010, artículo 149, como: “Las subálveas y las que se encuentran bajo la superficie del suelo o del fondo marino, que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento, o las que requieren para su aprovechamiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares”. En lo concerniente a la definición legal de acuífero, el Decreto 155 del 2004 enuncia: “Unidad de roca o sedimento, capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas” (art. 2).

En Colombia, los acuíferos tienen un plan de manejo ambiental (PMA) como herramienta de planificación y administración del agua subterránea, mediante la ejecución de proyectos y actividades de conservación, protección y uso sostenible del recurso, creados para aquellos acuíferos ubicados fuera de la unidad de Planificación de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCA) que, en caso de hacer parte de una de las cuencas priorizadas, se hace uso es de medidas de manejo ambiental de acuíferos.

El Decreto 1640 del 2012 determinó los criterios de priorización de acuíferos, objeto de planes de manejo ambiental, cuando haya agotamiento o contaminación del agua subterránea, como es el caso de exceso de fertilizantes y pesticidas, filtraciones de gasolineras, vertedero de basuras, fosas sépticas, accidente de camión cisterna, por nombrar algunos; cuando el agua subterránea sea la única o principal fuente de abastecimiento para consumo humano; cuando por sus características hidrogeológicas el acuífero sea estratégico para el desarrollo socioeconómico de la región; conflictos por el uso del agua subterránea; cuando se requiera que el acuífero sea la fuente alterna por desabastecimiento de agua superficial, debido a riesgos antrópicos o naturales (art. 62).

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible junto con el Ideam lideraron el Programa Nacional de Aguas Subterráneas en el año 2012, encaminado a la articulación de entidades y organismos en la promoción de estrategias para la adecuada evaluación y gestión de aguas subterráneas en Colombia. La formulación del programa se hizo de manera conjunta con otros ministerios, corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el sector académico representado por la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Antioquia y la Universidad Industrial de Santander; hubo también

representación de la Asociación Colombiana de Hidrogeólogos (ACH) y de las Empresas Públicas de Medellín (EPM), con los aportes de expertos hidrogeólogos internacionales.

En consecuencia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible elaboró una guía para la formulación de planes de manejo de acuífero, a partir de la cual las autoridades competentes para cada sistema elaboran el Plan de Manejo Ambiental del Acuífero (PMAA), concebida como una herramienta utilizada en el estudio desde la óptica social, económica y ambiental del medio hidrogeológico, con el fin de definir las medidas de manejo desde la sostenibilidad del recurso y los ecosistemas asociados.

De este modo, puede decirse que el Gobierno, a través de sus entidades nacionales, regionales y locales, ha mostrado gran preocupación y acciones por la protección de las aguas subterráneas; sin embargo, en un entorno permeado por la explotación económica del agua, la falta de consenso preliminar, en particular de aquellos desórdenes normativos que parecen *prima facie*, las disrupciones medioambientales que modifican la calidad del aire, suelo y agua se hacen evidentes en el cambio climático con tornados, maremotos, terremotos, huracanes, tsunamis, extinción de algunas especies de la flora y la fauna, desaparición de páramos, ríos, bosques, glaciares, aumento de enfermedades e incluso el desplazamiento de poblaciones humanas, inducidos por el quebrantamiento del hábitat. Si bien en Colombia se cuenta con multiplicidad de normas en el ámbito nacional y ratificación de convenios y pactos internacionales, el marco jurídico resulta exiguo de cara a la descomunal problemática ambiental.

Específicamente, el recurso hídrico nacional está siendo altamente afectado en sus aguas subterráneas mediante actividades contaminantes referidas a la acción humana, como son residuos sólidos urbanos, aguas residuales, actividades agrícolas, ganadería, actividades industriales y mineras, y actividades nucleares (Hidrología USAL, 2017).

Asimismo, con la explotación desaforada de acuíferos, vertimiento de sustancias contaminantes a las aguas subterráneas, deforestación y crecimiento

¹ Definición tomada de http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/3_1.pdf

“Se entiende por contaminación del agua, en general, la alteración de la calidad natural de la misma debida a la acción humana, que la hace total o parcialmente inutilizable para la aplicación útil a la que se destinaba”.

continuo de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, se ha desmejorado la hidrología subterránea en cantidad y calidad. De este modo, la contaminación del agua¹ subterránea es un problema que se debe abordar con medidas normativas ineludibles, encauzadas a la regulación del uso de las aguas subterráneas (acuíferos), en pro de su adecuada explotación y distribución racional, todo soportado en un régimen legal concatenado que permita la protección y la distribución en forma racional.

La amplia pero dispersa normatividad en materia ambiental en Colombia obedece a un variado espectro de problemas y necesidades por cubrir del orden social y ecológico de difícil control, convirtiéndose el Estado en un ente regulador “bombero” que ofrece soluciones jurídicas inmediatistas, pero a pesar de poseer una de las legislaciones más avanzadas en América Latina, existen aún vacíos legales frente a las crecientes ilegalidades perpetradas en contra del derecho a un ambiente sano.

Como visionarios en estar a la par de países vanguardistas en política ambiental, los esfuerzos resultan incipientes ante el deterioro de la moral administrativa, los fuertes intereses económicos, una política desligada de su esencia, favorecedora de intereses particulares preponderantes sobre los derechos de la colectividad, la ignorancia en temas ambientales en todos los niveles sociales, lo que sin piedad va agotando los recursos naturales.

Referencias

- Asamblea Nacional de Colombia. (12 de agosto del 2010). *Artículo Único. Ley 33 de 1910*. D.O: 14065.
- Arango Castaño, B.E. (s.f). Antecedentes de la normatividad ambiental colombiana. En *Memorando de Derecho*, 99. Universidad Libre de Colombia Seccional Pereira. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4133567.pdf>
- Botero, V. (1939). *Régimen Legal de aguas en Colombia*. Bogotá: Editorial Águila.
- Congreso de los Estados Unidos de Colombia. (26 de mayo de 1873). *Código Civil Colombiano. Ley 84 de 1873, art. 667*. D.O: 2867.

- Colombia, Congreso de la República. (22 de diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993*. D.O.: 41146.
- Colombia, Congreso de la República. (24 de julio de 2007). *Ley 1151 de 2007, art.1*. D.O: 46700.
- Colombia, Congreso de la República. (16 de junio de 2011). *Art. 210*. D.O: 48102.
- Colombia, Congreso de la República. (9 de junio de 2015). *Ley 1753 de 2015, art. 250*. D.O: 49538.
- Corte Constitucional colombiana. (1 de abril de 1998). *Sentencia C-126. M.P. Alejandro Martínez Caballero*.
- Corporación Autónoma Regional del Valle. (2012). *Así nació la CVC*. Recuperado de: <https://www.cvc.gov.co/asi-es-cvc/asi-nacio-la-cvc>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación_Política_Nacional_-_Gestión_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía metodológica para la formulación de planes de manejo ambiental de acuíferos*. Recuperado de: <http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/acuíferos/Guia-metodologica-para-la-formulacion-de-planes-de-manejo-ambienta-de-acuíferos.pdf>
- Ortúzar, F. (2014). *El Derecho Internacional Ambiental, historia e hitos*. [Entrada de blog]. Recuperado de: <http://www.aida-americas.org/es/blog/el-derecho-internacional-ambiental-historia-e-hitos>
- Presidente de la República de Colombia. (06 de junio de 1905). *Decreto 574 de 1905*. D.O: 12.393.
- Presidente de la República de Colombia. (15 de septiembre de 1914). *Decreto 932 de 1914*. D.O: 15.300.
- Presidente de la República de Colombia. (09 de enero de 1915). *Decreto 47 de 1915*. D.O: 15.393.
- Presidente de la República de Colombia. (17 de julio de 1940). *Decreto 1381 de 1940*. D.O: 24.422.

Presidente de la República de Colombia. (17 de julio de 1940). *Decreto 1382 de 1940*. D.O: 24.420.

Rodríguez Becerra, M. (1998). *La reforma de la institucionalidad ambiental de Colombia doce años después*. En *Economía Colombiana*, 297. Recuperado de <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/bajar/reformainstitucionalidad.pdf>

Rodríguez Becerra, M. (1998). *La reforma ambiental en Colombia*. Bogotá: Tercer mundo Fundación FES.

Ruiz-Pino, S. (2016). *Algunos precedentes históricos de protección o defensa de los recursos naturales y de la salubritas en Roma. Hacia un derecho administrativo medioambiental romano*. *Revista Digital de Derecho Administrativo*, Universidad Externado de Colombia, 17, pp. 91-109. Recuperado de: <http://revistas.uexternado.edu.co/index.php/Deradm/article/view/4831/5795>

Unesco. (2003). *Agua para todos, agua para la vida. Informe Legislativo 1992-1993*. Paris,

Francia: Unesco. Vargas Martínez, N.O. (2006). *Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia*. En *Boletín Geológico y Minero*, 117(1), pp. 47-61. Recuperado de http://www.igme.es/Boletin/2006/117_1_2006/Art.4.PDF

Bibliografía

Botero, V. (1929). *Régimen Legal de aguas en Colombia*. Tomo 1. Bogotá: Editorial Águila.

Botero, V. (2010). *Régimen Legal de aguas en Colombia*. Tomo 2. Bogotá: Editorial Águila.

Canal Albán, F. (2003). *Orientación del gasto de las Corporaciones Autónomas Regionales, 1995-2003*. Bogotá.

Canal, F., & Rodríguez, M. (2008). *Las Corporaciones Autónomas Regionales, quince años después de la creación del SINA*. En Rodríguez M. (Ed.). *Gobernabilidad, instituciones y medio ambiente en Colombia*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.

Gómez, I. (1999). *Sistema Nacional Ambiental-Reflexiones sobre su implantación y desarrollo*. Bogotá.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentación_Política_Nacional_-_Gestión_/libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf
- ONU. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Recuperado de: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- ONU. (2005). *Objetivos de desarrollo del milenio. Una mirada desde América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Pontificia Universidad Javeriana. (2006). *Memorias del evento: retos y proyecciones en la gestión de las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible*. Bogotá: Javegraf.
- Rodríguez, M. (2002). *El Futuro Ambiental de Colombia*. Bogotá: Facultad de Administración de la Universidad de los Andes.
- Rudas, G. (2001). *Política ambiental: inversión pública e instrumentos económicos*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Sistema de información ambiental de Colombia (2002). *Conceptos, definiciones e instrumentos de la información ambiental de Colombia*. Recuperado de: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/003592/TOMO1_CONCEPTOS.pdf
- Vergara, A. (2004). *Evolución y principios del derecho de aguas en Hispanoamérica. El caso de Chile*. En: *Derecho de aguas*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Zamora Manzano, J. L. (2003). *Precedentes romanos sobre el derecho ambiental*. Madrid, España: Edisofer S.L.



Ingeniería Civil

Fotografía de portada: Mario Carvajal
Caño Cristales, el arco iris que se derritió
La Macarena, Meta - Colombia
<http://www.mariocarvajal.com>

ISBN: 978-958-56645-0-0



9 789585 166450 01