



Universidad de los Andes

Systemic perspectives on low-carbon cities in Colombia-  
An integrated urban modeling approach for policy and regulatory analysis

Reporte final: Agosto 2020

Elaborado por:

Ángela Cadena, Clemencia Escallón, Mónica Espinosa, José A. Guevara, Luis A. Guzmán, Guillermo Jiménez, Juana Mariño, Nicanor Quijano, Juan P. Rodríguez, Manuel Rodríguez, Hernando Vargas

Natalia Bernal, Charly Cepeda, Jhon Escorcía, Álvaro A. Garay, Mónica Giraldo, Sara Jiménez, Luis G. Marín, Natalia Montoya, Eliana Ortiz, María Rincón, Felipe Rivera, Flavio Suarez, Oscar Torres.

Con la colaboración de: Germán Andrade, Sarah Arboleda, Susan Charlesworth, Julio Dávila, Carlos Giraldo, Dario Hidalgo, Angélica Ospina, Daniel Oviedo, Lorena Pupo, Ricardo Smith y Dimitri Zaninovich

# Tabla de contenido

## Introducción

### PARTE I

1. Capítulo 1. Marco para la planeación urbana y propuestas de análisis desde los diferentes sectores
  - 1.1. Los ecosistemas urbanos
  - 1.2. Manejo integrado del agua
  - 1.3. El suministro y uso de energía
  - 1.4. La gestión de los residuos
  - 1.5. Movilidad sostenible
  - 1.6. Edificaciones e infraestructura urbana (hacia una ciudad con entornos construidos sostenibles)
  
2. Capítulo 2. Los indicadores como herramienta para el seguimiento y mejora de los desarrollos urbanos
  - 2.1. Introducción
  - 2.2. Revisión bibliográfica
  - 2.3. Marco conceptual
  - 2.4. Marcos conceptuales y estándares de sistemas de indicadores
  - 2.5. Propuesta de agrupación de indicadores
  - 2.6. Metodología de evaluación comprensiva difusa
  
3. Capítulo 3. Los modelos para la evaluación de acciones de mitigación, adaptación y mejora
  - 3.1. Los modelos como apoyo al análisis de acciones
  - 3.2. Modelos sectoriales empleados
  - 3.3. Herramienta de integración para las opciones de mitigación
  
4. Capítulo 4. Estudio de las opciones de mitigación y de mejora
  - 4.1. Metodología de contabilidad de emisiones GEI en una microciudad
  - 4.2. Escenarios de línea base de emisiones GEI
  - 4.3. Escenarios de mejora y mitigación de emisiones GEI
  - 4.4. El monitoreo de las opciones propuestas y los indicadores

### PARTE II

5. Capítulo 5. Estudios de caso
  - 5.1. Selección de estudios de caso
  - 5.2. Ciudad Verde
  - 5.3. Encuesta en Ciudad Verde
  - 5.4. Lagos de Torca
  - 5.5. Comparativo
  
6. Capítulo 6. Resultados de los indicadores y opciones en Ciudad Verde
  - 6.1. Resultados de evaluación de indicadores y análisis año base (2018)
  - 6.2. Línea base de emisiones GEI en Ciudad Verde (2018 - 2030)

### 6.3. Medidas de mitigación y adaptación

## 7. Capítulo 7. Resultados de los indicadores y opciones en Lagos de Torca

- 7.1. Ecología urbana
- 7.2. Manejo integrado del agua
- 7.3. Suministro y uso de energía
- 7.4. Gestión de residuos
- 7.5. Movilidad sostenible
- 7.6. Edificaciones e infraestructura urbana

## 8. Capítulo 8. Lecciones aprendidas - de Ciudad Verde a Lagos de Torca

- 8.1. Ecología urbana
- 8.2. Manejo integrado del agua
- 8.3. Energía
- 8.4. Residuos
- 8.5. Movilidad y desarrollo territorial
- 8.6. Edificaciones e infraestructura urbana
- 8.7. Conclusiones

## Introducción

Este documento corresponde al informe final del proyecto “*Systemic perspectives on low-carbon cities in Colombia- An integrated urban modeling approach for policy and regulatory analysis*”, que realiza la Universidad de los Andes con el apoyo de Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, en el marco del financiamiento UK-PACT. El objetivo de este estudio consistió en desarrollar un enfoque, criterios técnicos, herramientas (conjunto de indicadores y de modelos) y recomendaciones de política y regulatorias para un desarrollo urbano sostenible en Colombia (sinergias de mitigación del cambio climático entre sectores, objetivos de adaptación urbana y ODS). Los productos de este trabajo se pueden resumir en: (i) una propuesta metodológica para abordar los proyectos urbanos en su evolución hacia la sostenibilidad; (ii) una caja de herramientas con un conjunto de indicadores, una guía para la construcción de inventarios y líneas base y modelos de uso abierto para analizar opciones de mejora; (iii) la aplicación de estos desarrollos en dos casos de estudio; (iv) la elaboración de un libro blanco con recomendaciones de política y (v) la formación de un grupo de investigación en la Universidad que soporte además programas de formación.

En la primera parte del documento se presentan el marco conceptual propuesto para abordar el trabajo desde una óptica sectorial y las herramientas desarrolladas y empleadas para planear y evaluar desarrollos urbanos nuevos o existentes con consideraciones de sostenibilidad y resiliencia. Se desarrolló una batería de indicadores para medir el estado de dichos proyectos en diferentes momentos y se emplearon modelos por sector, en su mayoría de código abierto, para evaluar opciones de mitigación y mejora durante las diferentes etapas que debe seguir un desarrollo urbano. En la segunda parte del documento se presentan los resultados de aplicar el conjunto de indicadores y de modelos para los análisis de líneas o estados base, opciones de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y de adaptación al cambio climático y propuestas de mejora en dos casos de estudio, Ciudad Verde en Soacha y Lagos de Torca en Bogotá. En el primer caso de estudio, además de la relación con los constructores, se adelantó un proceso de entrevistas, trabajo con grupos focales y se diseñó y aplicó una encuesta para la recopilación de información. En el segundo caso, la información fue suministrada por la gerencia del proyecto y complementada con la revisión de documentos y una visita al sitio. A fin de integrar los resultados de los análisis, se desarrolló una herramienta de construcción de escenarios para agregar las medidas de mitigación y mejora.

El cambio climático plantea un reto grande para los sistemas urbanos, no solo por la necesidad de identificar opciones que lleven a menores emisiones de GEI y otros contaminantes, sino por la necesidad de concebir los desarrollos urbanos con las adecuaciones para soportar los cambios que puedan presentarse. Medir la huella de carbono de una ciudad o proyecto urbanístico y evaluar escenarios de mitigación y adaptación no es una tarea sencilla. Una ciudad es un arreglo complejo de relaciones sociales y económicas con requerimientos de infraestructuras y bienes públicos que impone cargas sobre el medio ambiente, la gestión de recursos y de residuos. Planear y mantener una ciudad o un proyecto urbano con bajas emisiones y hacer frente a los desafíos que impone al cambio climático para los conglomerados urbanos requiere un trabajo de diferentes disciplinas. Además, se requiere contar con herramientas que den cuenta de sus impactos y de los beneficios de determinadas acciones para reducir las emisiones y adaptarse a los cambios por venir. Es un problema dinámico que llama a una acción colectiva. Se requiere entonces, una cultura ciudadana y una institucionalidad que apoye y conduzca estas acciones para ofrecer mejores condiciones de vida para los ciudadanos mientras se respetan los requerimientos de los ecosistemas urbanos y los acuerdos ambientales y sociales.

En los últimos años se ha publicado un importante acervo de documentos y artículos que dan cuenta de diferentes esfuerzos para entender la complejidad de un organismo vivo como una ciudad o una microciudad a diferentes escalas e identificar y evaluar acciones para su planeamiento, implementación, financiación, operación y mejora con relación al cambio climático. En Jiang et al. [1] se revisan la literatura producida sobre ciudades y cambio climático en el periodo 1990 – 2016. Mediante un análisis de conglomerados y métodos de clasificación identifican 15 agrupamientos que organizan en cuatro categorías: (i) mecanismos de estructuración y formación en áreas de urbanización y efectos climáticos, emisiones y balance de energía, impacto hidrológico y servicios urbanos ecosistémicos; (ii) selección y análisis en evaluación de vulnerabilidad y riesgos e índices de resiliencia y desarrollo sostenible; (iii) simulación espacial y planeamiento adaptativo, con trabajos en planeamiento y cambios de uso del suelo, adaptación espacial, biotérmica y basada en ecosistemas; y (iv) gobernanza y respuesta con estudios sobre impactos en salud y en mitigación y adaptación, gobernanza resiliente y políticas colaborativas e instituciones.

Este proyecto aborda desde el ámbito sectorial (ecología urbana, agua, energía, residuos, transporte y edificaciones) varios de los temas identificados en esta revisión bibliográfica en las cuatro categorías. Los aspectos de menor huella de carbono y resiliencia, en últimas de sostenibilidad, de un proyecto se deben considerar tanto a nivel de la gestión y de la planeación. Por ejemplo, las consideraciones sobre edificaciones e infraestructura urbana deben ser asumidas por el desarrollador en el diseño y construcción del proyecto y las de movilidad sostenible, como el acceso del transporte público al proyecto, deben gestionarse ante las respectivas autoridades<sup>1</sup>.

El documento está organizado en dos partes, como se mencionó. En la primera, correspondiente a los capítulos 1 a 4, se presenta el marco metodológico del proyecto y en la segunda parte, correspondiente a los capítulos 5 a 8, se presentan los análisis adelantados para los dos estudios de caso. En el primer capítulo se presenta en detalle la metodología propuesta y su abordaje desde cada uno de los sectores estudiados. Teniendo en cuenta la importancia de considerar aspectos ecológicos, económicos, sociales y estéticos dentro de los procesos de planeación urbana se proponen como ejes de soporte la maximización de la provisión de los servicios ecosistémicos y el manejo sostenible del agua. A partir de allí se integran los sectores de suministro y uso eficiente de energía, gestión de residuos, movilidad sostenible y construcción e infraestructura. De esta manera, se propone que los procesos de planeación inicien por la identificación de las áreas restringidas para intervención teniendo en cuenta los ecosistemas naturales que deben preservarse y las zonas que representan algún tipo de riesgo, el reconocimiento de las conexiones naturales estratégicas que deben mantenerse y la búsqueda de la preservación y maximización de los servicios ecosistémicos suministrados en cada zona de análisis.

Seguidamente, en el capítulo 1 se propone que el manejo del agua en entornos urbanos considere estrategias que no solo satisfagan las necesidades de agua de una ciudad, sino que ofrezca diferentes beneficios que mejoren su habitabilidad y resiliencia por medio de infraestructura adaptativa y multifuncional. Con esta base, se analiza la provisión de los servicios requeridos en entornos urbanos para cada sector teniendo en cuenta su accesibilidad y la mitigación del cambio climático. Se toman en consideración los avances conceptuales y tecnológicos orientados a la descarbonización de las economías sin afectar el crecimiento y el desarrollo social. Se busca proponer un mayor uso de fuentes limpias y locales; una mejor gestión de residuos con estrategias de recolección, reúso y reciclado; esquemas de movilidad que reduzcan las externalidades negativas por contaminación, congestión y siniestralidad al tiempo que ofrecen un mejor servicio para la ciudadanía mediante la combinación de diferentes modos; y

---

<sup>1</sup> Anotación de Ricardo Smith, miembro del Comité Asesor del proyecto.

mejores diseños y materiales para la construcción y operación de las edificaciones e infraestructuras asociadas.

En el segundo capítulo, se presenta el sistema de indicadores propuesto para la evaluación de los casos de estudio. Este sistema responde a los propósitos de sostenibilidad y resiliencia, según el marco conceptual descrito en el capítulo 1. Los indicadores se organizan según los ámbitos sectoriales considerados para este proyecto: ecología urbana y el manejo integrado del agua, que a su vez permiten la articulación de los sectores uso de la energía, manejo integrado de residuos, movilidad sostenible y edificaciones e infraestructura urbana. La aplicación de estos indicadores facilita la identificación de acciones de mejora a implementar, basados en los costos de inversión y el impacto que estas acciones puedan tener sobre el proyecto urbano o una ciudad. A partir de las metodologías que se encuentran en la literatura para el seguimiento y evaluación de proyectos urbanos o desempeño de ciudades, el conjunto de indicadores seleccionados y construidos permite evaluar y calificar un proyecto, según las prioridades establecidas por tomadores de decisión o desarrolladores, o agente interesado. La metodología seleccionada en este caso corresponde a una de tipo comprensivo difuso con elementos lingüísticos que facilita la descripción y análisis de lo que se pretende evaluar y calificar. Para comenzar, se presenta de manera breve la revisión bibliográfica realizada de diferentes estudios focalizados en la evaluación del desempeño global de diferentes proyectos urbanos y ciudades. Seguidamente, se presentan las bases conceptuales necesarias para el proceso de análisis y diseño de un sistema de indicadores definido a nivel de una unidad de análisis, por ejemplo, una ciudad o un desarrollo urbano. Adicionalmente, se detalla el sistema de indicadores propuesto para la evaluación de los casos de estudio basado en el marco conceptual descrito en el capítulo 1 del presente informe.

En el tercer capítulo se presentan los modelos como apoyo al análisis de acciones. Algunas de las aproximaciones a nivel de modelos se han enfocado en dar una visión sistémica del problema, con lo cual se busca tener en cuenta las interacciones entre diferentes sectores. Durante los últimos años, tanto los tomadores de decisiones, como grupos de interés (*stakeholders*), han manifestado un interés creciente por diseñar mecanismos o herramientas útiles para realizar seguimiento y evaluación a proyectos urbanísticos. Por tal motivo, se han desarrollado iniciativas para la construcción de modelos y sistemas de indicadores como variables claves para el modelaje y que estén acordes con los objetivos a evaluar en las diferentes unidades de análisis, como por ejemplo las ciudades. El objetivo final es tener en cuenta los niveles en los que interactúa una ciudad a nivel social, económico y físico. Dentro de los modelos sistémicos que se presentan en la literatura existen varias vertientes. Una primera que facilita la presentación de indicadores para la toma de decisiones es el marco DPSIR (*driving forces, pressures, states, impacts, and responses*). Las relaciones causales que existen entre los cuatro primeros elementos (DPSI) llevan a tomar unas acciones (R) que deberían retroalimentar al sistema con el fin de ir mejorando los indicadores propuestos. La utilidad de este enfoque ha sido mayor en las áreas de aguas y ecosistemas, pero su dificultad radica en que se tendría que plantear para cada problema un marco particular. Por otra parte, existen modelos de integración energética de sistemas y de nexo de recursos que pueden brindar una visión más amplia y con tintes dinámicos de las interacciones entre diferentes sectores. Para poder ver la evolución de estas interacciones, los sistemas compartimentales son una herramienta útil. Sin embargo, si bien se han desarrollado algunas aproximaciones tratando de ver la evolución entre varios sectores, este tema sigue estando abierto a investigación.

Por otra parte, el capítulo tres continúa con una descripción de los modelos sectoriales. Estas descripciones nos permiten ver las interacciones entre los modelos de un mismo sector, así como la relación entre éstos y la estimación de indicadores. En cada modelo se muestran las etapas del proceso, las cuales representan cómo se procesaría la información que ingresa a cada modelo, teniendo en cuenta

una frontera del marco de modelación sectorial. La modelación se realiza a nivel de sector, utilizando modelos de simulación o de contabilidad, los cuales en su mayoría son de código abierto.

En este mismo capítulo se presenta la metodología propuesta y la herramienta desarrollada para integrar los resultados de la evaluación de las opciones de mitigación y mejora propuestas en los dos casos de estudio. Con el fin de construir diferentes escenarios de acciones, se identifican en primer lugar las medidas complementarias, que presentan algún tipo de redundancia o que no pueden ser implementadas de forma simultánea. A partir de allí se construyen los diferentes escenarios considerando el grado de abatimiento, costo-eficiencia de la medida, factibilidad de implementación, abatimiento de medidas que no superen un límite establecido, su realización y finalmente, las opciones de adaptación. Estos escenarios pueden ser complementados con otros que el tomador de decisiones desee contemplar. Como resultado se estiman las emisiones para los distintos escenarios a partir de la línea base y la mitigación conjunta de las medidas. Para el conjunto de medidas analizadas se presenta su desempeño en cuanto a cobeneficios.

En el cuarto capítulo, se discuten los inventarios de emisiones GEI de un proyecto urbano (o una ciudad), la generación de las líneas base y las opciones de reporte, monitoreo y verificación. Los inventarios, la base del trabajo de evaluación de opciones de mitigación, pueden realizarse con varios objetivos. Una opción es que los ejercicios a nivel de macroproyecto sean directamente comparables con inventarios departamentales o nacionales, y que en fases futuras permitan reportar información a sistemas como el Registro Nacional de Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero (RENARE). Otro objetivo puede ser determinar las emisiones con un enfoque de análisis de ciclo de vida, en el que se considere además de las emisiones generadas directamente por la fuente en el año de estudio, las emitidas desde la fabricación (i.e. materiales de construcción) hasta la disposición final. Este enfoque que incluye la contabilidad de emisiones directas e indirectas, proveen información más integral sobre posibles intervenciones y opciones de mitigación de emisiones.

Dependiendo del objetivo de la contabilidad de emisiones se pueden aplicar diferentes metodologías para su estimación. Para inventarios nacionales y departamentales la metodología es la propuesta por el IPCC, que permite estimar impactos por subsectores y da lineamientos sobre su agrupación en las categorías que emplea el IDEAM en el inventario nacional. Por su parte, las metodologías basadas en la comunidad [2] tienen diferentes alcances en cuanto a los sectores y fuentes consideradas en los inventarios nacionales y se limitan a áreas geográficas más pequeñas como ciudades y comunidades.

Para el análisis a nivel de macroproyecto o microciudad se emplean los lineamientos que se mencionan a continuación, sobre la clasificación de las emisiones: (i) sector considerado en este proyecto, (ii) fuente de emisión: actividad que genera las emisiones GEI, (iii) etapa del ciclo de vida tales como construcción, operación y demolición, (iv) proceso que genera las emisiones o la absorción de emisiones y (v) límites del sistema de análisis, bien sea In-situ, fuera del sitio, o híbrido. A partir del inventario para un año seleccionado y mediante la definición de diferentes drivers, como la población o el nivel de actividad, se hace una estimación del comportamiento de las emisiones en el periodo de análisis. Posteriormente, se evalúan las opciones de mitigación seleccionadas en cada uno de los proyectos para evaluar la cantidad de reducción lograda y su costo-eficiencia. Como se ha mencionado, en algunos sectores se consideró, en conjunto con las opciones de mitigación, medidas de adaptación o mejora las cuales se presentan en cada uno de los estudios de caso donde apliquen.

Continuando con el planteamiento inicial, en este mismo capítulo se presentan las etapas que desde cada uno de los sectores se hacen necesarias para avanzar en un desarrollo urbano sostenible y resiliente. Estas etapas consideran los indicadores sectoriales requeridos para monitorear y verificar la evolución de los desarrollos urbanos. Como se señaló, a partir del diagnóstico inicial del sistema de indicadores, se pueden

establecer acciones de mejora a implementar, según los costos y el impacto que estas acciones puedan tener sobre el proyecto urbano en estudio. Cabe resaltar que estos indicadores pueden ser empleados para hacer un monitoreo, reporte y verificación a nivel de ciudad. La planeación urbana y el desarrollo de proyectos urbanos y de las ciudades se consideran procesos dinámicos en permanente evolución.

La Parte II del documento inicia con el capítulo quinto. Allí se describe en detalle la justificación y selección de los casos de estudio, Ciudad Verde y Lagos de Torca. Además, se indican los procesos de acopio y producción de la información para la aplicación de los indicadores y evaluación de las medidas de mitigación y adaptación planteadas desde los sectores.

Ciudad Verde se desarrolla en el marco de la Ley 1151 de 2007 que estableció la figura de los Macroyectos de Interés Social Nacional. Fue el primer macroyecto de iniciativa privada del país en el Municipio de Soacha. Se planteaba alcanzar 36.000 viviendas sobre un área de 315 hectáreas, iniciando en 2009 con siete etapas de ventas y construcción hasta 2016, con 70% de su área destinada a vivienda y un 30% a usos complementarios de esta [3]. Se integraron por el promotor privado de predios que hacían parte de antiguas fincas por medio de fiducia. Como resultado de concertación de los gestores con entidades del orden nacional y con el municipio de Soacha, actualmente, Ciudad Verde ha superado las 50.000 viviendas. Además, por su rápido ritmo de ventas, construcción y ocupación, se ha convertido en referente local e internacional. Esta experiencia permite documentar y analizar aspectos de su concepción, desarrollo y operación como parte de una línea base para ser contrastada con iniciativas de urbanización y vivienda a gran escala, estableciendo indicadores de su desempeño en materia urbanística y ambiental. Ahora bien, parte de la información para caracterizar Ciudad Verde, la cual se utilizó como insumo en los análisis, se obtuvo mediante la aplicación de una encuesta realizada en 430 viviendas de 31 conjuntos de la ciudadela, entre octubre de 2019 y enero 2020. Los resultados se presentan en el capítulo seis.

Ciudad Lagos de Torca es un macroyecto urbano ubicado al norte de la ciudad de Bogotá. Fue adoptado como un instrumento de gestión del suelo diseñado para planear el desarrollo de territorios específicos dentro del Plan de Ordenamiento Territorial vigente. La prioridad de este macroyecto consiste en restaurar la cuenca del Humedal Torca – Guaymaral mediante el saneamiento de las quebradas que conectan los Cerros Orientales con el humedal, la Reserva Forestal Thomas Van Der Hammen y el río Bogotá. Además, se planea la elevación de la Autopista Norte para mejorar y preservar la conectividad ecológica del humedal y colocar diques para la conservación de los espejos de agua. A nivel social, el objetivo es promover la convivencia de diferentes estratos socioeconómicos, con lo cual se espera que los 350.000 habitantes proyectados puedan utilizar por igual los parques, ciclorrutas y espacios públicos. En particular, se prevé la construcción aproximada de 125.000 viviendas, de las cuales 50.000 serán viviendas subsidiadas (40%). De este porcentaje, el 20% corresponderá a Viviendas de Interés Social (VIS) y el 20% restante a Viviendas de Interés Prioritario (VIP). Parte de la información para realizar el análisis de Lagos de Torca se obtuvo de la gerencia del proyecto. Los resultados se presentan en el capítulo siete.

En los capítulos sexto y séptimo se presentan los resultados obtenidos al evaluar estos dos casos de estudio, uno en operación y el otro en planeación. Se presenta la estimación de los indicadores y de la línea base de emisiones, así como los resultados de la evaluación de las opciones de mitigación, adaptación y mejora consideradas en cada caso. Además, se presentan recomendaciones, con respecto a los indicadores y las medidas de mitigación, para el mejoramiento de Ciudad Verde y las posibles fases de expansión y para la mejora del desarrollo urbanístico de Lagos de Torca.

Para terminar, en el capítulo octavo se presenta una síntesis de las lecciones aprendidas en el desarrollo de este proyecto, principalmente de los dos casos de estudio. Los resultados son diversos y complejos en su



lectura. Lo anterior se debe no solo a la metodología propuesta y la manera de ser abordados desde cada uno de los sectores, sino también al desarrollo y aplicación de los indicadores y herramientas de modelización. La evaluación de acciones de mitigación, adaptación o mejora durante la operación de los proyectos urbanos y también desde su concepción debe ser una práctica permanente. Se incluye un anexo que resume el marco de política y de los instrumentos regulatorios que pueden aportar a levantar las barreras existentes y solucionar los requerimientos para contar con ciudades y proyectos urbanos sostenibles.

En el libro blanco se proponen recomendaciones para la planeación de proyectos urbanos, de política y regulatorias, de coordinación y gestión, sobre el financiamiento de las soluciones y de creación de capacidades e innovaciones que contribuyan a un desarrollo urbano sostenible en el país. Esta propuesta surge de los resultados obtenidos y de las barreras que se pudieron identificar en estos análisis, más una revisión del marco institucional nacional y de casos de éxito internacionales.

Para terminar, en la realización de la primera fase de este proyecto, que se desarrolló entre marzo de 2019 y junio de 2020, participaron 25 personas entre profesores y asistentes de las facultades de Ingeniería, Arquitectura y el Centro para los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Uniandes, 2 profesores de UCL y 1 de la U. de Coventry del Reino Unido, 3 profesionales del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible y 3 consultores externos. Se contó con la asesoría de un comité de 6 expertos nacionales e internacionales y de representantes de entidades gubernamentales en un comité institucional y el apoyo de los responsables y desarrolladores de los proyectos urbanos seleccionados como casos de estudio. Este proyecto fue financiado por el programa UK PACT Colombia.

Como anexo a esta introducción se incluye un glosario de términos.

## Referencias

- [1] Y. Jiang, L. Hou, T. Shi, y Q. Gui, «A review of urban planning research for climate change», *Sustain.*, vol. 9, n.º 12, 2017.
- [2] L. G. for S. (ICLEI) World Resource Institute (WRI). C40 Cities Climate Leadership Group, «Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities», *World Resour. Institute.*, pp. 1-176, 2014.
- [3] Amarilo y Pinilla Prieto & González, «Ciudad verde - Soacha». Bogotá, 2009.
- [4] L. F. Vidal y G. I. Andrade, «Buscando respuestas en un entorno cambiante», Bogotá, 2014.
- [5] H. M. Benavides y D. Y. Fernández, «Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec», *Madera y Bosques*, vol. 18, n.º 2, pp. 51-71, 2012.
- [6] N. Dudley y S. Stolton, Eds., *Defining protected areas: an international conference in Almeria, Spain*. Gland: IUCN, 2008.
- [7] Comisión Europea, «Zonas de riesgos naturales», *INSPIRE*, 2019. .
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations, «Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture.», Rome, Italy, 1985.
- [9] National Forum on Biodiversity, *Biodiversity*, NV-1 onl. Washington, D.C.: National Academy Press, 1988.
- [10] C. H. Nilon, «Urban biodiversity and the importance of management and conservation», *Landsc. Ecol. Eng.*, vol. 7, n.º 1, pp. 45-52, 2011.
- [11] J. E. Ortíz Hernández, L. Beltrán hernández, C. Lizárraga Mendiola, C. Coronel Olivares, y G. Vásquez Rodríguez, «Biorretención y reúso del agua de escorrentía urbana en climas áridos o semi-áridos: una revisión», en *Simposio Iberoamericano Multidisciplinario de Ciencias e Ingenierías*, 2013, pp. 17-22.
- [12] F. Salbitano, S. Borelli, M. Conigliaro, y Y. Chen, «Guidelines on urban and peri-urban forestry», Rome, 2016.
- [13] IPCC, *Global Warming of 1.5°*. 2018.
- [14] A. Huovila, P. Bosch, y M. Airaksinen, «Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?», *Cities*, vol. 89, n.º June 2018, pp. 141-153, 2019.
- [15] M. A. Pérez Rincon, «Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis.», en *Minería en Colombia: Contro público, memoria y justicia socio-ecológica, movimientos sociales y posconflicto*, J. Viana Saldarriaga, Ed. Bogotá: Contraloría General de la República, 2014.
- [16] M. Gurrutxaga San Vicente y P. J. Lozano Valencia, «Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿ Solucionan la problemática de fragmentación de hábitats?», *Obs. Medioambient.*, vol. 11, pp. 171-183, 2008.
- [17] M. Z. Memlük, *Urban Landscape Design*. Intech, 2012.
- [18] W. W. Groves, P. E. Hammer, K. L. Knutsent, S. M. Ryan, y R. A. Schlipf, «Analysis of Bioswale

- Efficiency for Treating Surface Runoff», Santa Barbara, 1997.
- [19] J. Leal, *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*, 1.<sup>a</sup> ed. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2005.
- [20] J. Wu, C. He, G. Huang, y D. Yu, «Urban Landscape Ecology : Past , Present , and Future», en *Landscape Ecology for Sustainable Environment and Culture*, B. Fu y B. K. Jones, Eds. New York: Springer, 2013, pp. 37-53.
- [21] I. Vila, *Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 2006.
- [22] A. G. Tansley, «The use and abuse of vegetational concepts and terms», *Ecology*, vol. 16, n.º 3, pp. 284-307, 1935.
- [23] G. E. Likens y J. H. Cowan Jr, «The ecosystem approach: its use and abuse», 1992.
- [24] H. Srinivas, «Sustainable Development: Concepts», *GDRC Research Output E-008.*, pp. 9-10, 2019.
- [25] T. Van der Hammen y G. I. Andrade, «Estructura ecológica principal de Colombia: primera aproximación», Bogotá, 2003.
- [26] R. A. W. Rhodes, «The New Governance: Governing without Government», *Polit. Stud.*, vol. 44, n.º 4, pp. 652-667, sep. 1996.
- [27] A. Machado, «An index of naturalness», *J. Nat. Conserv.*, vol. 12, n.º 2, pp. 95-110, 2004.
- [28] I. T. Acuña, «Huella ecológica y biocapacidad: Indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia», *Rev. Luna Azul*, n.º 26, pp. 119-136, 2008.
- [29] A. K. Chapagain y A. Y. Hoekstra, «Water footprints of nations Volume 1: Main Report», Delft, 2004.
- [30] Center for Sustainable Systems University of Michigan, «Carbon Footprint Factsheet», 2018.
- [31] W. van Rooij y E. Arets, «Biodiversity footprint of companies summary report», 2017.
- [32] Ramsar Regional Center – East Asia, «The Designation and Management of Ramsar Sites – A practitioner’s guide.», 2017.
- [33] Comisión Europea, «Construir una infraestructura verde para Europa», Bruselas, 2014.
- [34] L. A. Vélez Restrepo y A. Gómez Sal, «UN MARCO CONCEPTUAL Y ANALÍTICO PARA ESTIMAR LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA A ESCALA DE PAISAJE», *ARBOR Ciencia, Pensam. y Cult.*, vol. 729, n.º enero-febrero, pp. 31-44, 2008.
- [35] International Institute for Sustainable Development, «Learn - Step 3 : Impact Assessment and Mitigation», *EIA Essentials*, 2019. .
- [36] J. M. Puelo, E. G. Jobbágy, P. Laterra, H. Dieguez, M. A. Gracia Collazo, y A. Panizza, Eds., *Ordenamiento Territorial Rural: conceptos, métodos y experiencias*. Buenos Aires: ISBN 978-95-5-308619-1, 2014.
- [37] M. C. Morláns, *Introducción a la Ecología del Paisaje*. Catamarca: Editorial Científica Universitaria, Universidad Nacional de Catamarca, 2005.
- [38] M. Castells, *La cuestión urbana*, n.º 711: 316. Siglo Veintiuno de España, 1979.

- [39] S. Donoso, «El desafío de la participación ciudadana: algunas reflexiones sobre la experiencia chilena\*», *Polit. y Líneas Acción - CLACSO*, n.º Marzo, 2015.
- [40] ONU Habitat, *Urban and Sustainable Planning: A Guide for Municipalities*, vol. 1. Nairobi: ONU HABITAT, 2007.
- [41] A. Calvente, «Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad», 2007.
- [42] J. Prior y E. Brady, «Environmental Aesthetics and Rewilding», *Environmental Values*, vol. 26, n.º 1, pp. 31-51, 2015.
- [43] M. S. Lindhult, «2013 Proceedings of Fabos Conference on Landscape and Greenway Planning», n.º April, 2013.
- [44] M. L. García y J. M. R. Vergara, «La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza», *Enseñanza las ciencias Rev. Investig. y Exp. didácticas*, vol. 18, n.º 3, pp. 473-486, 2000.
- [45] O. López Bernal, «La sustentabilidad urbana», *Rev. Bitácora Urbano Territ.*, vol. 1, n.º 8, pp. 8-14, 2004.

## Anexo 1. Glosario

**Adaptabilidad:** *“Es la capacidad intrínseca de un sistema ecológico para ajustarse espontáneamente a los cambios de clima en condiciones de variabilidad natural.”* [4]

**Adaptación Sostenible:** *“Proceso en el cual las condiciones de mantenimiento o mejoramiento de los ecosistemas y la biodiversidad en el paisaje se pueden sostener en contextos sociales y de cambio ambiental global.”* [4]

**Arbolado Urbano:** Es el conjunto de árboles y arbustos dentro del perímetro urbano. Lo componen los individuos encontrados tanto en elementos de la malla vial como en las áreas verdes urbanas de distintas escalas. El arbolado urbano interactúa con los componentes bióticos y abióticos del ecosistema urbano. Contribuye al mejoramiento del aire y al valor estético de la ciudad entre otros servicios ecosistémicos. [5]

**Área Protegida:** Área de tierra y/o mar especialmente dedicada a la protección y mantenimiento de la naturaleza y de los recursos naturales y culturales asociado a estos y administrado a través de medios legales u otros efectivos. Las áreas de protección pueden tener otro rol u objetivo, pero la conservación de la naturaleza debe primar. [6]

**Área de Riesgo:** Zonas vulnerables caracterizadas por la existencia de riesgos de carácter natural (cualquier fenómeno atmosférico, hidrológico, sísmico, volcánico o incendio natural) que, debido a su localización, gravedad o frecuencia, pueda afectar negativamente áreas altamente pobladas y/o de valor ambiental, cultural y/o económico particular. [7]

**Aptitud de Uso:** La capacidad de un tipo de tierra o suelo para una clase específica de uso. [8]

**Biodiversidad:** *“La variedad de vida en cada nivel jerárquico y escala espacial de la organización biológica genes en poblaciones, poblaciones en especies, especies en comunidades, comunidades en paisajes, paisajes en biomas y biomas en la biosfera”* [9]

**Biodiversidad Urbana:** Es la biodiversidad encontrada en el entorno urbano. Esta depende de los patrones y dinámicas de los hábitats presentes. Su evaluación y entendimiento también está relacionada con las escalas en la que ésta es observada. [10]

**Biorretención:** *“Los sistemas de biorretención (SB), también conocidos como jardines de lluvia, son los dispositivos más ampliamente usados para el manejo de las aguas de escorrentía. Consisten en una depresión rellena de material filtrante y provista de cobertura vegetal que opera por infiltración del AEU. Cuando ésta pasa a través de la cobertura vegetal y el medio filtrante, ocurren diversos mecanismos físicos, químicos y biológicos de remoción de contaminantes.”* [11]

**Bosque Urbano y Periurbano:** Sistemas que comprenden todos los bosques, grupos de árboles e individuos arbóreos en áreas urbanas y periurbanas. Son la espina dorsal de la infraestructura verde, vinculando áreas urbanas y rurales y amortiguando la huella ecológica de las ciudades. [12]

**Cambio Ambiental Global:** Cambio en el estado del clima que puede ser identificado por cambios en la forma y/o la variabilidad de sus propiedades que persiste en el tiempo. Esto puede ser atribuido directa o indirectamente a la actividad humana alterando la composición atmosférica y los usos del suelo. [13]

**Ciudad Sostenible Inteligente:** Concepto emergente que combina la sostenibilidad con la inteligencia enfatizando la simultánea importancia de ambas en la concepción y construcción de ciudades. [14]

**Conflicto Socioambiental:** *“La manifestación de las contradicciones sociales en la relación ser humano-naturaleza; una parte de las luchas y las reivindicaciones de sus actores sociales son por una sociedad ambientalmente sana, la conservación o preservación de la naturaleza, y por los valores éticos y estéticos que se dan entre ellos y su entorno natural. Pero igualmente, una gran parte de los conflictos se originan por las luchas asociadas a la apropiación de los recursos naturales y los servicios ambientales por diferentes actores; por el uso de la naturaleza como medios de vida y de sustento para muchas comunidades.”* [15]

**Corredor ecológico:** *“Ámbito territorial cuya función primordial es la de conectar dos o más sectores con características ambientales similares, de forma que resulte transitible y sirva como conducto a los desplazamientos de la biota. Corresponden con sectores de la matriz territorial que presentan un especial interés para mantener la conectividad ecológica, entendida como la capacidad del territorio para permitir los desplazamientos de las especies silvestres entre las teselas con recursos”* [16]

**Diseño del Paisaje:** Es el arte y la ciencia de crear y conservar ambientes exteriores respetando los valores culturales y la sostenibilidad ecológica. Se usan elementos bióticos y abióticos para el diseño y la planeación por ende el resultado es siempre dinámico y cambiante. [17]

**Drenaje Sostenible:** Es un canal de baja pendiente con una cubierta vegetal densa a través de la cual el agua es canalizada. Permite la reducción de la velocidad de las corrientes, reduce los caudales del agua lluvia y filtra sólidos suspendidos. [18]

**Ecoeficiencia:** Se refiere a la optimización del uso de recursos naturales (hacer más con menos) como estrategia corporativa o iniciativa privada con apoyo estatal. *“Es la manera en que se mide la vinculación entre economía y medio ambiente en una perspectiva práctica de la sostenibilidad”.* [19]

**Ecología del Paisaje:** *“Disciplina que se describen los patrones espaciales de los elementos conformadores del paisaje y se estudian las relaciones funcionales entre ellos.”* [4]

**Ecología del Paisaje Urbano:** Es la ciencia de estudiar y mejorar la relación entre los patrones del paisaje urbano y los procesos ecológicos para lograr la sostenibilidad urbana. [20]

**Ecosistema:** Existen varias definiciones no reducibles de Ecosistema. Se puede entender como el conjunto de organismos y de factores físicos que forman el bioma (Tansley, 1935). También se puede entender como una unidad espacialmente delimitada en la superficie terrestre que incluye todos los organismos junto con los componentes del ambiente abiótico dentro de sus límites (Likens, 1992). Por otro lado, el ecosistema se puede entender como un concepto que sirve para organizar el conocimiento y depende de cada investigador su definición. [21]–[23]

**Ecosistema Urbano:** Ecosistemas híbridos con componentes naturales y antropogénicos cuyas interacciones son afectadas tanto por el ambiente natural como por la cultura, el comportamiento individual, la política, la economía y la organización social. [24]

**Ecosistemas Emergentes:** *“Son las asociaciones de especies que ocurren en el territorio como producto directo de la acción humana, pero funcionan fuera de su control. Se reconocen usualmente por ser una mezcla de especies nativas y exóticas producto de las invasiones biológicas y que tienen un cierto nivel de estabilidad o permanencia en el tiempo. Si bien son manifestación grave de una causa de pérdida de la biodiversidad, poco a poco vienen siendo considerados como espacios que proveen algunos servicios ecosistémicos a la sociedad; incluso, en medio de las transformaciones pueden adquirir algún valor de conservación de hábitat de especies en riesgo.”* [4]

**Estructura Ecológica Principal:** *“El conjunto de ecosistemas naturales y semi-naturales que tienen una localización, extensión, conexiones y estado de salud tales que en conjunto garantizan el mantenimiento de la integridad de la biodiversidad, la provisión de servicios ambientales (agua, suelos, recursos biológicos y clima), como medio para garantizar la satisfacción de las necesidades básicas de los habitantes y la perpetuación de la vida.”* [25]

**Gobernanza:** *“Un proceso de gobierno, unas reglas de juego, y/o un método de gobierno de la sociedad que caracterizan y estructuran las relaciones entre los actores en un proceso colectivo”* [26]

**Grados de Naturalidad:** Indicador cualitativo de espacios verdes o territorios basado en su cobertura arbórea, número de individuos y número de especies. Se puede medir con indicadores numéricos o cualitativos. Autores como Machado (2004) han propuesto escalas y aproximaciones de medición. La propuesta de Machado contempla rangos de 10 a 1 en donde 10 corresponde a sistemas naturales vírgenes donde solo se dan elementos y procesos naturales y 1 corresponde a los sistemas transformados donde los procesos antrópicos gobiernan y hay una clara dominancia de elementos artificiales.

**Huella Ecológica:** *“Es un indicador biofísico que nos permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población y economía, expresados en áreas de suelo productivo. Nos permite determinar la dependencia que tiene la población de una ciudad, región o país, de las importaciones de recursos y su capacidad de asimilación de desechos disponibles.”* [28]

**Huella Ecológica del Agua:** Indicador para relacionar el consumo de agua con la producción y consumo de bienes. Medido generalmente a nivel nacional, se puede aplicar a otras escalas. Se define como el volumen de agua requerido para la producción de los bienes y servicios consumidos por los habitantes de un país. [29]

**Huella Ecológica del CO<sub>2</sub>:** Indicador que mide la cantidad de gases de invernadero causados directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. [30]

**Huella Ecológica de la Biodiversidad:** Indicador que mide el impacto en la biodiversidad de las compañías y sus productos y servicios. [31]

**Humedal Urbano RAMSAR:** Humedal que dado el cumplimiento de uno o más de los nueve criterios establecidos, ha sido declarado de importancia internacional bajo el acuerdo RAMSAR. [32]

**Infraestructura Verde:** *“Una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos”.* [33]

**Integridad Ecológica en escala de paisaje:** Concepto que relaciona la integridad espacial, ecosistémica y la sostenibilidad de los usos del suelo. *“permite relacionar al tiempo una aproximación físico-espacial con una perspectiva ecológico-funcional; la escala de paisaje/territorio con la de ecosistema y por último valorar el ajuste o idoneidad de la intervención antrópica incluyendo los usos como parte esencial del paisaje. Mantener la consideración conjunta de los tres aspectos implica admitir que la integridad ecológica a la escala del paisaje no puede desprenderse de la funcionalidad de los ecosistemas que lo componen y reducirse a una estimación de la estructura espacial, con independencia de la calidad de los contenidos.”* [34]

**Interdependencia:** *“Es un aspecto fundamental del pensamiento sistémico. Se habla de interdependencia cuando las relaciones entre el sistema ecológico o social, o algunas de sus variables, no solo se relacionan, sino que se transforman recíprocamente. En una relación de interdependencia estrecha no sería posible definir incluso una situación en un sistema ecológico de forma independiente de una situación social y viceversa.”* [4]

**Mitigación de Impacto:** Se refiere a la minimización o elución de los impactos, principalmente ambientales. Las estrategias de mitigación se dividen en tres categorías: preventivas, limitantes y compensatorias. [35]

**Ordenamiento Territorial:** *“proceso político-técnico-administrativo orientado a la organización, planificación y gestión del uso y ocupación del territorio, en función de las características y restricciones biofísicas, culturales, socioeconómicas y político-institucionales. Este proceso debe ser participativo e interactivo y basarse en objetivos explícitos que propicien el uso inteligente y justo del territorio, aprovechando oportunidades, reduciendo riesgos, protegiendo los recursos en el corto, mediano y largo plazo y repartiendo de forma racional los costos y beneficios del uso territorial entre los usuarios del mismo”* [36]

**Paisaje:** *“El aspecto general de una región, resultante de la modelación efectuada por distintos factores (abióticos, bióticos y antrópicos, si los hubiere) cuya particular historia evolutiva y adaptativa le confiere ciertas peculiaridades.”* [37]

**Paisaje Urbano:** *“el resultado de una serie de transformaciones en gran parte producidas por planes y proyectos urbanos, por intervenciones arquitectónicas y por multitud de diversas actuaciones relativas a la organización de los espacios, a la forma y disposición del mobiliario urbano, etc...”* [38]

**Paisaje Resiliente:** *“Se refiere a un territorio en el cual la composición, estructura y función de los elementos sociales y ecológicos permiten su mantenimiento en situaciones de cambio ambiental. En situaciones de cambio inevitable, la resiliencia no se refiere ya al mantenimiento o retorno a un estado análogo al interior, sino a una transición hacia un estado deseado en el cual se mantiene o construye una identidad deseada”.* [4]

**Participación Ciudadana:** *“El control ciudadano sobre el Estado y el perfeccionamiento de la capacidad de la gente por entender y decidir sobre los temas que le afectan en sus vidas”.* [39]

**Planificación Urbana Estratégica:** Es la determinación de la dirección en la que se desarrollará una ciudad o región urbana de acuerdo con su contexto, sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. Esta aproximación permite a las ciudades responder a eventos de rápida ocurrencia, gerenciar el cambio y mejorar la calidad de vida. No es un proceso estático, debe cambiar en conjunto con las situaciones de la ciudad. [40]

**Resiliencia:** Es la característica de un sistema complejo que determina la cantidad de perturbaciones que puede sufrir el sistema sin alterar sus características básicas. También se refiere a la capacidad de este sistema para desarrollar e incrementar su capacidad de aprendizaje y autoorganización. Hay que tener en cuenta que esta no es una propiedad fija y estable en el tiempo y el espacio. [41]

**Resiliencia Socio ecológica:** *“Se refiere a la capacidad que tiene un sistema socio-ecológico de transitar por un proceso de cambio, manteniendo elementos clave de su estructura, composición o funcionamiento, así como su identidad social.”* [4]



**Renaturalización:** Es el proceso de reintroducir o restaurar organismos salvajes y/o procesos ecológicos a ecosistemas en los cuales dichos organismos y/o procesos han desaparecido o se encuentran disfuncionales. [42]

**Servicios Ecosistémicos:** *“Se refiere a las funciones de los ecosistemas que representan un beneficio reconocido para las comunidades humanas y la sociedad en general. Usualmente, se identifican como servicios de soporte (el sistema ecológico como tal y su biodiversidad), provisión (bienes tangibles derivados de sus funciones), regulación (procesos que mantienen los servicios) y servicios culturales (bienes tangibles o intangibles de la naturaleza que sustentan la valoración social de la naturaleza). Los servicios ecosistémicos conectan la biodiversidad con el bienestar humano.”* [4]

**Sistema de Espacios Verdes Urbanos:** Red de espacios verdes de diferentes tipos dentro de los perímetros urbanos que soporta funciones sociales y ambientales. [43]

**Sostenibilidad Integral:** Se refiere a la sostenibilidad en tres aspectos: ecológico, social y económico. [44]

**Sostenibilidad Urbana:** *“Concepto alternativo de ciudad, en el cual un asentamiento tiene la capacidad de proporcionar en forma duradera y eficiente la energía y los recursos para cumplir con los objetivos que en el subsistema social (bienestar social), espacio físico urbano (calidad físico espacial), económico (productividad) y ecológico (preservación ecológica), que requerirán las generaciones presentes y futuras que habitarán la ciudad”.* [45]

**Urbanismo del Paisaje:** Disciplina emergente en la que el paisaje absorbe a través de interconexiones sistémicas las discusiones históricamente asociadas en la arquitectura, el urbanismo y la planeación urbana. [43]

**Variables Estructurantes:** *“Se denomina así al conjunto de variables que, a pesar de su número relativamente pequeño, sostienen la estructura y funciones de un sistema complejo multi variado.”* [4]

**Vías Verdes:** Franjas verdes paralelas a ríos, quebradas, canales y corredores de transporte. También se usan en la agricultura para como protección contra el viento. Actualmente También se les han asignado funciones de protección y conservación ambiental. [43]

**Vulnerabilidad Socioecológica:** *“Es aquella situación propia de los sistemas ecológicos y sociales integrados que determina la capacidad de adaptación a través de la conjugación de la exposición ante el cambio ambiental.”* [4]