



## Modelo metodológico para el estudio urbano-ambiental desde el concepto de análisis de ciclo de vida en el edificio

Methodological model for the urban-environmental study from the concept of life cycle assessment in the building

Mario German Martínez Caicedo\*

Recibido: 16 de enero de 2017

Aceptado: 02 de junio de 2017

### Resumen

La caracterización de la ciudad sostenible necesita desarrollar métodos de análisis con indicadores cuantitativos y modelos que permitan la toma de decisiones a corto y mediano plazo. Los sistemas de valoración ambiental para entornos urbanos y edificaciones están generalmente basados en actuaciones ponderadas cualitativamente y no muestran el verdadero panorama urbano de impacto ambiental. Teniendo en cuenta estas características, el presente trabajo desarrolla un sistema de evaluación y diagnóstico ambiental de lo edificado, que implementa el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) al contexto urbano, con el fin de generar un modelo de impacto que permite tomar decisiones en la intervención urbana, articuladas a las condiciones ecológicas del sistema soporte. La metodología implementada muestra la relación entre el volumen edificado y el impacto que ello genera en el ecosistema soporte para, de esta manera, generar mapas de impacto que permiten la reinterpretación ambiental de ciudad.

**Palabras clave:** análisis de ciclo de vida, construcción sostenible, ecología, evaluación ambiental, impacto ambiental.

### Abstract

The sustainable city model requires analysis method's with quantitative indicators and models, for making short and medium term decisions. Environmental assessment systems for urban environment and buildings are based in measured actions qualitatively, and they do not show real environmental impact's urban panorama. Given these characteristics this work development an environmental assessment and diagnosis system for the built city, that is based on the analysis of the life cycle (LCA), for made a impact model and making decisions in the urban intervention, linked in the urban intervention, and ecosystem's ecological conditions. The methodology implemented shows the relationship between building volume and environmental impact, for environment reinterpretation of city.

**Keywords:** ecology, environmental assessment, environmental impact, life cycle assessment, sustainable building.

\* Facultad de Arquitectura, Universidad La Gran Colombia. Bogotá, Colombia. Contacto: [mario.martinez@ugc.edu.co](mailto:mario.martinez@ugc.edu.co)

Cómo citar: Martínez Caicedo, M. (2017). Modelo metodológico para el estudio urbano-ambiental desde el concepto de análisis de ciclo de vida en el edificio. *Revista de Urbanismo*, 36, 146-163. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2017.45173>

## Introducción

En el rápido crecimiento y desarrollo de las ciudades existe la creencia de que los recursos naturales son ilimitados; esta concepción es consecuentemente asociada a los impactos producidos sobre el entorno cuyas repercusiones percibidas a largo plazo no se aprecian directamente, haciendo que los modelos de desarrollo urbanos no consideren las necesidades de las generaciones venideras. Lo cierto es que los recursos no son ilimitados, la naturaleza tiene unos límites en la producción de materias y servicios, así como de absorción de residuos y existen enormes diferencias sociales y económicas en los entornos urbanos, hecho que repercute directamente en el comportamiento ecológico de la ciudad, así como en la toma de decisiones en la planificación urbana.

Bajo esta perspectiva en el año 2000 se formó *The Millennium Ecosystem Assessment Panel* (MA) con el fin de analizar científicamente las consecuencias de cambios en los ecosistemas en relación con el bienestar humano. Las conclusiones de estos estudios muestran que nuestro modelo de vida provoca una demanda de recursos y servicios del ecosistema muy superior a su tasa de recuperación. Los residuos se producen a una velocidad mayor de la que el entorno puede absorber y se está reduciendo dramáticamente la capacidad de recuperación de los ecosistemas, provocando cambios, en algunos casos irreversibles, y aumentando de esta manera las diferencias sociales y económicas entre los entornos urbanos. Dichas conclusiones, sin embargo, confirman una problemática ya identificada cuarenta años atrás la cual se asume como paradigma científico en los años setenta (Rodríguez y Zumelzu, 2014).

En respuesta a ello para el año 1993 aparece lo que se construiría como la primera y más ampliamente implementada metodología de evaluación ambiental enfocada en la edificación y el entorno urbano: la iniciativa LEED. A partir de este momento, muchas han sido las metodologías de este tipo implementadas alrededor del mundo, cada una de las cuales crea su propio enfoque en función de las necesidades locales de impacto, todas enfocadas hacia la eficiencia energética (Martínez, González, & Da Fonseca, 2009).

Paralelamente a estas iniciativas, se incrementa la preocupación por la caracterización y estudio del impacto

ambiental de la producción industrial, consolidándose hacia la década de los noventa la ISO 14.040, una metodología cuyo objetivo es describir en el ciclo de vida de un producto o servicio y el impacto generado en el ecosistema (Chacón, 2008). Dicha metodología ha sido ampliamente difundida y se han desarrollado algunos intentos por valorar la edificación desde el punto de vista de los materiales involucrados, lo cual conlleva a preguntarse acerca de la posibilidad de implementar el ACV como un método de análisis para el impacto del edificio y el entorno urbano. En una primera interpolación, la investigación desarrollada arroja resultados positivos a esta pregunta, dado que la metodología ACV muestra la tendencia de impacto de cualquier objeto evaluado, es decir, posibilita evidenciar la tendencia de impacto negativo del edificio.

Desde esta perspectiva, este trabajo plantea a manera de hipótesis, el que una evaluación de impacto ambiental basada en el análisis del ciclo de vida (ACV) aplicada a la edificación, permite obtener información de tipo cuantitativa que describe el impacto negativo de la edificación en el ecosistema. Este proceso es susceptible de replicarse a escala urbana para crear un sistema de información de lo construido que describe el impacto negativo de la ciudad en su sistema soporte y que puede emplearse como directriz en el desarrollo y la planificación urbana, bajo los objetivos del desarrollo sostenible.

La propuesta busca esencialmente desarrollar un modelo de valoración del impacto ambiental negativo a escala urbana definido por las edificaciones, basado en el concepto de ciclo de vida para consolidar mapas diagnósticos de impacto en lo urbanizado, mediante la cuantificación de los materiales y el volumen edificado, a través de una aplicación desarrollada para tal fin, que utiliza los ecoindicadores 99 como elemento comparativo.

El presente trabajo muestra los resultados de impacto obtenidos mediante la implementación de la ISO 14.040 a un área urbana, con el fin de evidenciar la tendencia de impacto de lo construido, y convertirse en información a ser implementada en políticas de planificación territorial, acordes al comportamiento ecológico del ecosistema urbano.

## Marco teórico

### Sostenibilidad ambiental

El informe Brundtland el 1987 introdujo el concepto de “desarrollo sostenible”, y con él la necesidad de incluir en la toma de decisiones las prospectivas de futuro. La Declaración de Río (1992) supuso el reconocimiento de un verdadero derecho del ser humano al desarrollo sostenible, el cual conduce al replanteamiento de la tendencia de urbanización dispersa y, en consecuencia, a una especial atención de ciudad compacta. Sin embargo, los inconvenientes medioambientales de las ciudades hacen replantear los modelos urbano-ambientales lo que, por lo general, hacen planteamientos de tipo teórico en modelos cualitativos (Barton, 2006).

En función de ello, se hacen necesarias las evaluaciones ambientales que, más allá de la visión conservacionista de recursos, categoricen el impacto generado por lo construido, entendiendo que, desde el punto de vista ecológico, la ciudad es en realidad un ecosistema aún no estudiado, susceptible a descripciones cuantitativas que pueden interpretarse como un sistema cuyo elemento constitutivo es el edificio (Arcas-Abella, Pagès-Ramón y Casals-Tres, 2011).

Desde la perspectiva de la sostenibilidad en el enfoque urbano, el trabajo pretende definir un marco metodológico que describe el impacto negativo en el entorno construido. Para ello, el desarrollo la investigación ha incluido los objetivos generales descritos por el PNUMA<sup>1</sup>, como parte de los alcances que se pretenden lograr y que son coherentes con los lineamientos del desarrollo sostenible urbano en el marco global. Por este motivo, cobran especial importancia, por ejemplo, los indicadores en las edificaciones a lo largo de todo su ciclo de vida para lograr la minimización de impacto, ya que estos pueden, de cierta manera, mostrar el comportamiento ambiental de lo edificado y, de igual manera, la adaptación y la vulnerabilidad de la ciudad física a los cambios ecológicos, entendiendo que lo urbano describe un sistema ecológico dinámico.

<sup>1</sup> Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

### La ciudad sostenible

El concepto de ciudad sostenible puede describirse desde diversos ámbitos, dada la naturaleza misma de la noción de sostenibilidad, la cual involucra, como es bien conocido, un marco de desarrollo social, ambiental y económico. El trabajo desarrollado se ha concentrado en el marco ambiental, prestando interés en la ciudad y los efectos nocivos que este sistema antrópico propicia en el medio, para comprender la forma como deberían replantearse algunos modelos de planificación y desarrollo urbanos, encaminados hacia la coexistencia entre el hábitat urbano y el natural (Winchester, 2006).

Entendiendo al ecosistema urbano como un sistema con sus propias dinámicas, nos encontramos ante un nuevo enfoque de lo ecológico en la ciudad, el cual identifica a lo edificado como un objeto de estudio superpuesto a lo natural y que ha generado, con el tiempo, nuevas dinámicas en el ecosistema, es decir, una visión ecológica en donde la ciudad construida y el ecosistema natural constituyen una relación simbiótica parasitaria, siendo el primero el huésped del segundo (Di Pace, 2004).

El estudio ambiental de la ciudad, hecho desde el enfoque de la ecología naturalista, busca como objetivo primordial la conservación de los recursos, motivo por el cual persigue, en principio, la restauración y conservación del ecosistema natural. Las ciudades, sin embargo, no constituyen un ecosistema natural pese a identificarse en ellas una estructura ecológica, sino que por el contrario, contribuyen a disminuir drásticamente el número de recursos naturales y construidos, por lo cual la ecología, arroja resultados poco claros respecto del comportamiento ambiental de lo edificado, propiciando de esta manera políticas de planificación que desconocen por completo la dinámica de la ecología urbana (Di Pace, 2004). De igual forma, el concepto de ciudad sostenible no es preciso. La relación entre lo edificado y el sistema de soporte no es clara y, por ende, los estudios ambientales de la ciudades no son capaces de articular por sí mismos los ecosistemas naturales y urbanos, como un microsistema interrelacionado e interdependiente.

En este sentido, para comprender la relación entre la ciudad edificada y el ecosistema natural es necesario asumir lo urbano como un sistema con sus propias dinámicas (Di Pace, 2004). Una vez comprendida esta

correspondencia es posible entender la relación directa de la ciudad en la definición de sustentabilidad ambiental urbana, la cual desde los modelos de ordenamiento, aporta directrices para la planificación integral de un territorio en función de estructuras ecológicas no naturales, y que permiten la consecución de sistema de gestión para la sostenibilidad, basado en componentes territoriales tangibles.

Lo anteriormente descrito se basa en la visión planteada desde la ecología urbana, la cual plantea que el estudio de la ciudad desde lo edificado permite comprender la dinámica ambiental y, por ende, es posible generar estrategias que articulen los ecosistemas natural y urbano en la consecución de la ciudad sostenible (Bettini, 1998). Para ello, sin embargo, es necesario comprender el impacto que ha generado lo edificado en el sistema soporte y cómo, dicho impacto proyecta a futuro el crecimiento urbano, el cual deberá redireccionarse de acuerdo con las capacidades de recuperación del sistema soporte. Todo ello es posible mediante técnicas y metodologías ya implementadas, como es el caso de las evaluaciones de impacto ambiental basadas en los modelos de análisis predictivo (Hermida, 2015).

### Edificio sostenible

El concepto de edificio sostenible asumido desde la TGS<sup>2</sup>, describe un sistema de tipo cerrado donde los desechos herrenados por procesos de transformación se convierten en las entradas de materiales y energía del ciclo, constituyendo lo que se conoce como un “metabolismo circular” o cerrado (Rodríguez y Fernández, 2010) (Figura 1).

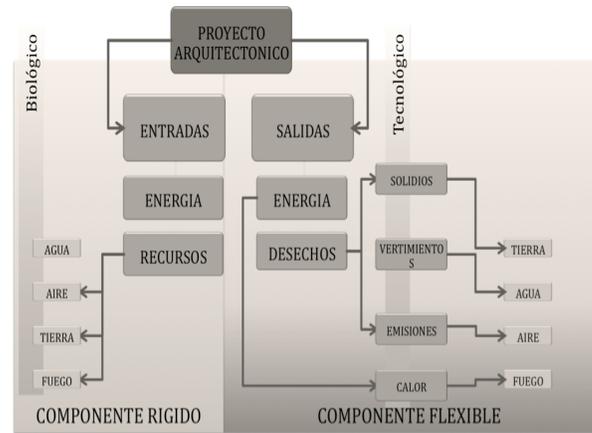


Figura 1: Modelo de metabolismo circular en una edificación.

Fuente: Elaboración propia.

En lo concerniente a lo edificado, existe sin embargo un sinnúmero de enfoques ambientales encaminados hacia la creación de herramientas o sistemas de indicadores de sostenibilidad que sirven, para calificar el edificio con diferentes grados de sostenibilidad (ecoetiquetado), o bien, como técnica de ayuda para la toma de decisiones en la gestión del proyecto.

Alrededor del mundo existen múltiples herramientas de evaluación ambiental para edificios basados en sistemas de indicadores de impacto, pero ninguno contempla la posibilidad de una evaluación integral que incluya al entorno urbano y su tendencia de impacto.

Para esta investigación se ha realizado una búsqueda de las herramientas de sostenibilidad que trabajan por medio de sistemas de indicadores en las diferentes bases de datos disponibles y se ha consultado la web de CRISP (*Construction and City Related Sustainability Indicators*), del U.S. Department of Energy “Building Technologies Programs”, junto con los trabajos de Fowler y Rauch (2006) y de la International Energy Agency, dando lugar a un total de 123 sistemas de indicadores de sostenibilidad y evaluación ambiental para edificaciones a nivel global (Cuadro 1).

<sup>2</sup> Teoría General de Sistemas.

Modelo de evaluación	País de origen	Parámetro de valoración (medición y calificación)	Aspecto (indicadores)
AQUA	Brasil	Actuaciones	Deterioro ecosistema
BREEAM	U.K.	Actuaciones	Rendimiento y calidad ambiental del edificio y cargas medioambientales asociadas
CASBEE	Japón	E coeficiencia	Metabolismo y gasto energético
CONQUAS	China	Planificación de actuaciones	Deterioro ecosistema y medio ambiente
DGBN	China	Actuaciones	Deterioro ecosistema
EEWH	Finlandia	Actuaciones	Ecología, energía, reducción de desechos, salud
ESGB	Francia	Actuaciones	Deterioro ecosistema
GBS	Alemania	Actuaciones	Deterioro ecosistema
GREEN STAR NZ	India	Actuaciones	Calidad de vida
GREEN STAR SA	Israel	Actuaciones	Calidad de vida
GRIHA	Holanda	Actuaciones	Metabolismo y gasto energético
HQE	Nueva Zelanda	Actuaciones	Deterioro ecosistema
LEED PORTUGAL	Portugal	Actuaciones	Deterioro ecosistema
LEED SINGAPUR	Singapur	Actuaciones	Deterioro ecosistema
LEED EEUU	EE.UU.	Actuaciones	Deterioro ecosistema
LiderA	Sudáfrica	Reposición medio ambiente	Valoración de impactos
MINERGIE	Suiza	Valoración de resultados	Calidad de vida
NABERS	Taiwán	Valoración de procesos operativos	Valoración impactos
NBS	UK	Valoración de resultados	Metabolismo y gasto energético
PROMISE	México	Valoración de actuaciones	Deterioro ecosistema
PRS	Emiratos Árabes	Valoración de actuaciones	Deterioro ecosistema
SI-5281	EE.UU.	Actuaciones	Rendimiento y calidad ambiental del edificio y cargas medioambientales asociadas
VERDE	España	Estructura de Jerarquización	Metabolismo y gasto energético

Cuadro 1: Sistemas de evaluación ambiental para edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Para los proyectos de infraestructura o de escala urbana, sin embargo, son pocos los sistemas de evaluación, encontrándose tan solo dos referentes que se enfocan esencialmente como evaluaciones de impacto ambiental. Durante el desarrollo de la investigación tan solo se halló una propuesta de indicadores de sostenibilidad para las infraestructuras denominada

SUSAIP, *SUSustainability Appraisal in Infrastructure Projects*, aplicada en la industria de la construcción sudafricana, la cual está basada en indicadores diseñados a raíz de entrevistas y encuestas a los actores intervinientes en el ciclo de vida del proyecto, seleccionando como directriz de evaluación a aquellos con mayor relevancia ambiental. Existe, además, un índice de evaluación de las

infraestructuras denominado *Technical Sustainability Index* (TSI) de origen canadiense, cuyo objetivo es medir el nivel de impacto en las intervenciones urbanas de infraestructura, siendo estos dos modelos los únicos que han incursionado en la evaluación ambiental a escala urbana, tomando como punto de partida la edificación.

Sin duda, la existencia de estos sistemas de indicadores pretende alcanzar un bajo nivel de impacto mediante una lista de chequeo, con el único objetivo de lograr puntuaciones que categorizan los proyectos como sustentables y así alcanzar a toda costa un ecoetiquetado o certificación ambiental. La iniciativa de evaluación respecto de la infraestructura es un paso adelante en la búsqueda del edificio y ciudad sostenibles, pero en realidad, describen sistemas subjetivos y con un alto grado de incertidumbre, sin considerar las oportunidades para hacer más sostenible el proyecto, ya que el indicador no refleja una característica concreta, limitándose a la generalidad de cumplir o no con un requisito mínimo admisible; el modelo asume que el bajo impacto es sinónimo de sostenibilidad, lo que en términos de la ecología matemática, no es del todo acertado, pues necesariamente deberá involucrarse la variable “tiempo” al generar un modelo asertivo de impacto.

Por otra parte, considerar a cada uno de los actores involucrados en un proyecto no es fácil, dado que la generación de ciudad física constituye una industria muy particular en donde lo que se diseña y materializa es singular. Esto complica el desarrollo de indicadores válidos para todos los proyectos y todas las escalas. Existen diferentes tipologías, actividades, actores, situaciones y emplazamientos con prestaciones distintas, que hacen único cada proyecto, incluso más si se considera, por ejemplo, la definición de ciudad desde la postura materialista, esto es, la de un fenómeno que agrupa factores como: sociedad, territorio y gobierno, donde cada uno de los cuales se relaciona directamente en la consecución del entorno físico, generando de esta manera un conjunto de variables indeterminadas que no facilitan la evaluación ambiental de un entorno urbano (Goncalves y Haddad, 2016).

### **Evaluación ambiental**

Si bien los sistemas de indicadores son una herramienta válida que ayuda a tomar decisiones ante un

análisis de alternativas de impacto, no es un proceso metodológico completo en el que se analicen todas las oportunidades de sostenibilidad. Así, por ejemplo, una solución eficiente en materia de energía en la edificación no producirá los resultados esperados, a menos que se realice un análisis meticuloso de todo el ciclo de vida, es decir, deberá incluir un componente que pondere la energía consumida durante el proceso, el uso y la etapa final de deconstrucción (Martínez, 2013).

La metodología que más se aproxima a una valoración exhaustiva del impacto ambiental de los edificios es el análisis de ciclo de vida ACV establecida por las normas ISO 14.040/43, en tanto permite cuantificar el impacto medioambiental global, realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida. Sin embargo, las metodologías y herramientas relacionadas con el ACV de los edificios no son suficientemente conocidas ni utilizadas a escala de edificación, pese a que existen métodos de evaluación dedicados exclusivamente a cuantificar el impacto negativo del edificio desde el ACV (Goncalves y Haddad, 2016).

En este estudio, los resultados del análisis de impacto emplean la metodología de ACV, resumida mediante una matriz basada en hojas de cálculo, la cual resulta de gran utilidad para evaluar la tendencia del impacto ambiental negativo de la edificación. Entre otras características, los ACV resumidos (como el propuesto en este estudio) suponen un tiempo de ejecución más corto, menores cantidades de información necesaria para modelar el edificio durante las fases del ciclo de vida, sus escenarios y, finalmente, una menor inversión económica, ya que es posible implementar herramientas y fuentes de información de libre disposición, de bajo costo, o de uso público.

La aplicación del ACV como método de evaluación ambiental deja de lado el problema de la caracterización del edificio en variables indeterminadas de uso o escala, dado que se enfoca en la cuantificación de los materiales involucrados y los procesos de transformación, por lo cual el estudio puede determinar fácilmente la tendencia de impacto desde una postura objetiva a escala urbana, desde un paradigma explícitamente materialista, y permite hacer de lado la variable tiempo y las variables antrópicas intrínsecas a la edificación (Carabaño, 2017).

Sobre la base de lo anterior, la investigación sugiere crear un nuevo marco metodológico para la gestión sostenible a escala urbana, dado que los resultados de impacto acumulado por cada edificación generan un mapa ambiental, de modo que se trate a la sostenibilidad como una oportunidad de mitigación y reducción de impactos negativos. Para ello, los pasos de la metodología propuesta son seis:

1. Determinar el área de estudio.
2. Cuantificar los materiales involucrados.
3. Evaluar cada material y proceso desde una aplicación informática prediseñada.
4. Comparar los resultados con los indicadores ambientales urbanos locales.
5. Determinar el nivel de impacto.
6. Realizar las recomendaciones para la reducción y mitigaciones de impactos.

Como resultado del proceso, surge un registro de factores de sostenibilidad ambiental para el adecuado control durante el ciclo de vida del proyecto, así como su implementación en proyectos similares futuros. Además, pueden utilizarse algunos de los sistemas de indicadores para comprobar el grado de ecoeficiencia que alcanza el edificio o infraestructura según las variaciones que se van proponiendo en la fase del ciclo, de acuerdo con los criterios de sostenibilidad que se quieren alcanzar (Martínez, 2013).

El enfoque aquí propuesto se hace necesario en tanto potencia una metodología ya normalizada, y que en un estudio exhaustivo y meticuloso puede aplicarse a entornos urbanos. Para ello es necesario entender a la ciudad y la edificación como elementos objetuales materiales, carentes de un contenido simbólico, es decir, el edificio se define como el elemento de un conjunto denominado ciudad, constituyendo esta última un sistema urbano.

## **Metodología**

### **Metodología de análisis ambiental basado en impacto y ACV en la edificación**

Los métodos de evaluación aplicados a edificaciones se categorizan como evaluaciones de impacto ambiental basadas en indicadores, las cuales concentran sus esfuerzos de análisis en la eficiencia energética del edificio. En esta categoría es posible incluir al análisis de ciclo de vida (ACV), como un método de evaluación del impacto ambiental pero que, a diferencia de otros métodos, puede valorar simultáneamente energía, materiales, procesos, desecho e impactos generados, entre otros aspectos (Chacón, 2008).

Para el caso particular de esta investigación es importante aclarar que en un trabajo precedente se desarrolló un método de evaluación para edificaciones, cuyo objetivo principal fue la determinación de un procedimiento que valorara el ciclo de vida del edificio; como consecuencia se observa un patrón en todos los casos estudiados: la etapa de construcción es la que mayor impacto al ecosistema, dada la demanda de materiales, energía y emisiones de carbono presentes, por lo cual se concluye que es posible determinar el impacto ambiental de la edificación desde la cuantificación de materiales (Goncalves y Haddad, 2016). Es importante destacar que de las 23 metodologías de evaluación ambiental que fueron consultadas y comparadas, menos del 10% considera la ponderación de impacto durante la etapa de construcción.

En este sentido, la metodología ACV aplicada a la edificación para este estudio propone un análisis enfocado en los procesos. Así, dado que cada edificio obedece a un proceso constructivo determinado, o la simultaneidad de varios (según la complejidad misma del proyecto), es poco práctico llevar a cabo mediciones meticulosas de grandes áreas urbanas que determinen el nivel de impacto de cada edificación. Por este motivo y, de la mano de una herramienta informática desarrollada para tal fin, se normaliza el muestreo para áreas con características homogéneas y, se toma como parámetro común las edificaciones que cumplen con dos requisitos: estructura y cimentación de edificio en concreto reforzado, con cerramientos y divisiones en mampostería cerámica (Carabaño, 2017). Estas características determinan el área urbana a estudiar, dado que en las mediciones realizadas se observa cómo este sistema constructivo y materiales son los que mayor impacto ambiental imparten al medio urbano (Gráfico 1).

En este sentido, las mediciones en el área urbana se realizan con la herramienta desarrollada y caracterizan a cada edificación por el tipo de material y el volumen del mismo. Es importante aclarar que la evaluación a escala urbana no realiza el ACV de cada material por separado, en tanto previamente se determina la tendencia de impacto de los materiales mediante una ponderación estadística que determina un indicador numérico de impacto asociado al volumen edificado, siendo información base de cálculo para el software.

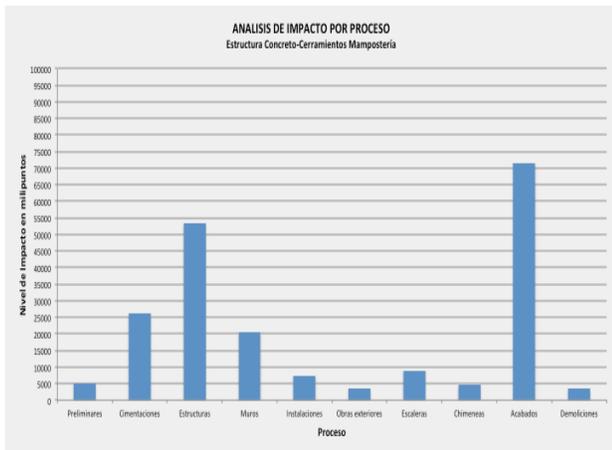


Gráfico 1: Tendencia de impacto en edificaciones concreto armado y mampostería cerámica.

Fuente: Elaboración propia.

La caracterización del proceso en el edificio identifica, desde la teoría general de sistemas, tres etapas básicas denominadas Macro, Meta y Micro procesos (Figura 2). Cada una de estas etapas o estados agrupa una serie de factores que brindan información precisa acerca de cómo el edificio está conformado, y permite la caracterización y cuantificación de los materiales implementados (Figura 3). Dichas etapas se describen a continuación:



Figura 2. Esquema de análisis en las tres etapas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

**MACRO**procesos: identifica el tipo de construcción y el sistema constructivo implementado, para cualificar los materiales del edificio.

**META**procesos: describe el proceso mediante el cual se transforma el material (proceso constructivo) e involucra la energía implícita en cada uno.

**MICRO**procesos: identifica y describe las actividades y subactividades constructivas, para proveer a la herramienta de la información necesaria con la cual calcula, específicamente, cada material en cada parte del edificio.

Las mediciones realizadas muestran variaciones de impacto que no necesariamente describen una proporción directa al volumen de material. Un mismo material (por ejemplo, concreto), asume un valor de impacto mayor cuando se trata de un tipo de proceso industrializado, dado que la huella de carbono y el consumo de energía involucrada son muy altos. De igual manera, un meta proceso que identifica a la manufactura como proceso constructivo para el mismo material, genera una ponderación menor de emisiones de carbono y un consumo de energía tendiente a cero, dado que las emisiones son mucho menores, al no involucrar procesos previos de maquinado. Por este motivo es importante identificar de qué manera el edificio se construye, evitando así sofismas técnicos en los cuales se afirma, por ejemplo, que materiales vernáculos poseen por sí mismos un bajo impacto ambiental.

Finalmente, y luego de identificar los tres niveles de análisis, el impacto ponderado en el estudio obedece a una calificación numérica basada en los ecoindicadores 99 y la metodología de milipuntos, la cual, muestra el nivel de impacto acumulado en función de la cantidad de materiales (Goedkoop, et al., 1999).

### Producción de material de construcción (en milipuntos por kg).

Material	Indicador	Descripción	
Barniz alquídico	520	Producción y emisiones durante el barnizado, conteniendo 55% de disolventes	5
Cemento	20	Cemento portland	1
Material cerámico	28	Ladrillos etc.	1
Hormigón sin refuerzo	3,8	Hormigón con densidad de 2200 kg/m <sup>3</sup>	1
Vidrio templado revestido	51	Para ventanas. Cubierta de estaño, plata y níquel (77 g/m <sup>2</sup> )	1
Vidrio templado no revestido	49	Para ventanas	1
Yeso	9,9	Selenita. Empleada como relleno	1
Gravilla	0,84	Extracción y transporte	1
Cal (quemada)	28	CaO. Empleado para producir cementos. También se puede utilizar como base consistente.	1
Cal (hidratada)	21	Ca(OH) <sub>2</sub> . Empleado para fabricar mortero	1
Lana mineral	61	Para aislamientos	1
Construcción sólida	1500	Estimación para un edificio (cemento) por m <sup>3</sup> de volumen (bienes de equipo)	1
Construcción en metal	4300	Estimación para un edificio (cemento) por m <sup>3</sup> de volumen (bienes de equipo)	1
Arena	0,82	Extracción y transporte	1
Tableros de madera	39	Madera europea (criterios FSC). Omisión de la absorción de CO <sub>2</sub> en la fase de crecimiento	1
Madera maciza	6,6	Madera europea (criterios FSC). Omisión de la absorción de CO <sub>2</sub> en la fase de crecimiento	1
Uso del suelo	45	Ocupación como suelo urbano por m <sup>2</sup> al año	1

Figura 3. Tabla de ecoindicadores para materiales de construcción.  
Fuente: Goedkoop, Effting & Collignon (1999).

#### Herramienta de evaluación

La herramienta de medición cuantifica el impacto y lo traduce a cifras numéricas, posibilitando la realización de gráficas estadísticas. El software describe tres niveles de impacto asociados a un rango de puntuaciones, obtenidas mediante la sumatoria de milipuntos ponderados en el edificio. La caracterización del nivel de impacto se establece teniendo en cuenta el tiempo de recuperación del ecosistema, tal y como indican los protocolos de evaluación de impacto ambiental de acuerdo con la siguiente escala:

- Impacto BAJO: asimilado por el ecosistema a corto plazo 0 a 1 año.
- Impacto MEDIO: asimilado por el ecosistema a largo plazo 1 a 10 años.
- Impacto ALTO: asimilado por el ecosistema en periodos superiores a 10 años.

La escala de impacto se emplea teniendo en cuenta que la vida útil media de una edificación está alrededor de los 25 años, de acuerdo con las tablas de depreciación de los bienes inmuebles. También es importante anotar que si bien una edificación puede proyectarse con más años

de vida útil (especialmente la infraestructura), el sistema inmobiliario tiende a una renovación constante de los edificios (especialmente los no residenciales), motivo por el cual se ha reducido la escala crítica de recuperación a 10 años, siendo este el rango de tiempo dentro del cual se perciben los cambios en el ecosistema.

El criterio para la selección de esta escala obedece a una condición de interpretación y se ha diseñado incrementalmente en una progresión aritmética simple, dado que su objetivo es permitir al evaluador y a quien la interpreta los resultados, una fácil y rápida lectura de la tendencia de impacto en el proyecto, de igual manera, se han considerado para el diseño de esta escala las posturas ambientales contemporáneas, la cuales sugieren reducir drásticamente los niveles de impacto en tiempos de recuperación más cortos.

Dado que los modelos realizados por cada edificación arrojan como resultado alta tendencia de impacto ambiental, la matriz de evaluación considera un hecho simple: la ciudad posee en si un alto grado de impacto negativo. En este sentido, el modelo de evaluación intenta describir dicha tendencia, y obliga a considerar estrategias para mitigar cada uno de los aspectos relevantes durante los procesos constructivos de un edificio. La investigación realizada arroja siempre el mismo resultado: las áreas urbanas impactan negativamente al ecosistema y la mitigación se logra mediante la implementación de estrategias que cambian dicha tendencia a través de las

actuaciones hechas en los procesos constructivos, y no en los edificios puestos en uso.

### Sistema de puntuación

La puntuación asignada se toma de las tablas de ecoindicadores-99 mostradas a continuación:

**Área de estudio.** El presente estudio se desarrolla e implementa en la cuenca del río Fucha de la ciudad de Bogotá la cual, se extiende 12991 hectáreas sobre el área urbana. Dados los alcances de la investigación, se determina un área de intervención que abarca 500 Hectáreas.

El área de estudio se determina por sus particularidades ecológicas y climáticas descritas a continuación: una temperatura media anual que varía según el gradiente altitudinal, entre los 8° y los 11°C para la parte alta (2.646 m.s.n.m.) y entre 13° y 14° C para la parte media (2.567 m.s.n.m.), siendo el promedio anual de 12.6°C. Las precipitaciones máximas fluctúan entre los 1400 a 1500mm anuales en la zona alta de la cuenca disminuyendo en la zona media a valores que oscilan entre los 700 y 8000mm anuales. La humedad relativa en esta zona tiene una distribución bimodal a lo largo del año, registrando un valor promedio anual de 84,3%, siendo el valor máximo es de 80,8% y el mínimo de 71,7%.

Por otra parte, las características urbanas del sector describen una zona altamente poblada que acoge 27 barrios de origen obrero, un área ecológica al borde de un río y alta densidad habitacional, lo cual genera a través del tiempo una ocupación del suelo urbano que supera el 82%, mientras que la construcción se estima en un

promedio de 2.64 veces el área urbana ocupada, mostrando una predominancia de uso residencial con construcciones en concreto y mampostería cerámica.

En este sentido, el área de estudio construye una zona con múltiples problemáticas a solucionar las cuales, para el caso específico de este estudio se centraron en los modelos de planificación urbano-ambiental, tomando como directriz la restauración ecológica y, siendo de especial interés la generación de modelos de impacto como guías para el redesarrollo urbano del sector y la generación de nuevas políticas de ocupación.

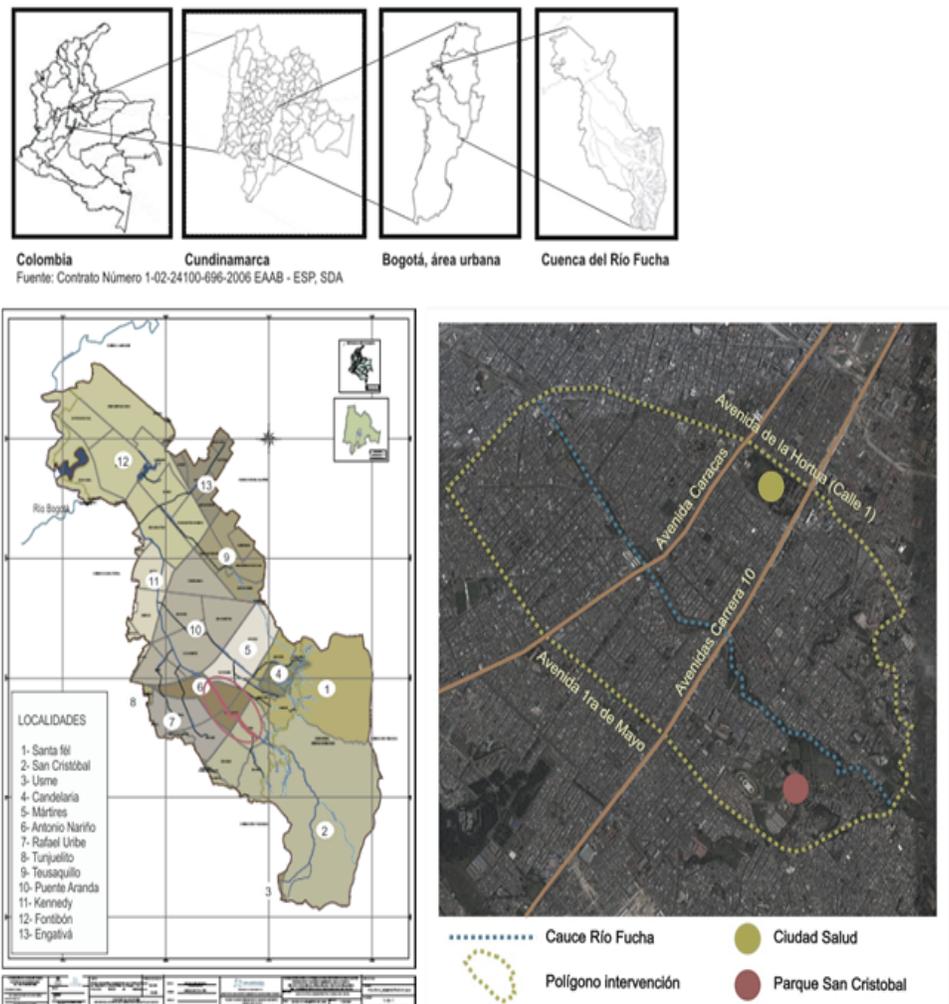


Figura 4: Área de estudio cuenca del río Fucha-Bogotá. Fuente: Universidad Piloto de Colombia. Grupo de investigación Compacidad Urbana.

## Resultados

El concepto de evaluación ambiental urbana se caracteriza por definir el impacto negativo en relación con el consumo, deterioro o restauración de los recursos naturales, razón por la cual la información ambiental no siempre es bien interpretada, en tanto se enfoca en resultado de tipo cualitativo, y propone soluciones al sistema evaluado sin hacer un seguimiento de los procesos que generan dicha problemática, es decir, carecen de estrategias que puedan solucionar el conflicto tipo cuello de botella, en donde la problemática ambiental es la manifestación acumulativa de conflictos anteriores, siendo esta una de las principales causas para que las soluciones ambientales y la planificación urbana no hayan logrado articularse eficientemente en políticas que arrojen resultados asertivos de intervención urbano-ambiental.

Dado que la problemática del medio ambiente urbano se asume desde la complejidad, las evaluaciones ambientales de lo urbanizado se perciben siempre como incompletas y esto se debe, a que se enfocan en un único aspecto a solucionar. Dicho aspecto, por lo general, se identifica teniendo en cuenta los impactos ya existentes o aquellos que se prevé podrían llegar a ser causados y, en cualquier caso, la evaluación se concentra en el proyecto y desconoce su ciclo de vida, lo cual genera soluciones aplicadas a un único aspecto dentro de un espectro que se define como sistémico.

En respuesta a ello, aparecen con regularidad metodologías de evaluación para edificaciones, las cuales se aproximan al fenómeno del deterioro ambiental urbano, sin embargo, dado que su fundamento de evaluación se enfoca en la eficiencia energética a través de la cualificación con indicadores, dichas metodologías no ofrecen en realidad una descripción detallada del ambiente urbano, pese a que los resultados obtenidos pudieran interpolarse para mostrar al menos, la tendencia de eficiencia energética en áreas urbanas.

Por otra parte, el análisis del ciclo de vida como metodología de evaluación ambiental, contempla la totalidad del ciclo, lo cual implica que desde el inicio el análisis es de carácter sistémico, posibilitando la descripción detallada de los impactos ambientales, al punto en que se puede identificar por ejemplo la huella de carbono, la huella ecológica y la eficiencia energética,

entre otros aspectos.

Esta metodología, pese a haber sido diseñada para un contexto industrial, permite aplicarse a la edificación cuando se comprende que el edificio es el resultado de un proceso productivo en un contexto industrial, es decir, el resultado de la industria de construcción. Así mismo, la ciudad ha de definirse bajo estos parámetros, dado que lo edificado no es otra cosa que un conjunto de edificios, fruto de una industria que genera en promedio el 38% del PIB de un país y en promedio el 78% de sus residuos.

En una primera etapa de la investigación, el objetivo general pretende realizar el ACV a la edificación, para determinar el impacto que los procesos constructivos imparten al ecosistema y, durante el desarrollo de la misma surge la necesidad de llevar la metodología a escala de ciudad, con el objetivo de observar los patrones de impacto de lo edificado en su ciclo de vida, para luego constituirse como una herramienta articulada a la planificación urbano-ambiental, ya que permite entender la tendencia de impacto de lo construido, sin la ambigüedad de interpretaciones, desde visiones ecológicas, antrópicas, sociológicas o históricas entre otras características.

Una vez implementada la metodología en el área de estudio, los resultados arrojados pueden interpretarse de diversas maneras, siendo de especial interés:

- Interpretación relativa: responde al cálculo de impactos medidos en cada una de las unidades asociadas y corresponde a los milipuntos acumulados por cada edificio.
- Interpretación absoluta: responde a la tendencia de impacto de áreas urbanas, respecto del área total de referencia.

En este sentido, un grupo de mediciones que contiene por ejemplo 20 edificaciones dentro de las cuales existen 12 con alto nivel de impacto (escala relativa), seis con un nivel medio y dos con un bajo nivel, permite categorizar al grupo evaluado con una tendencia de alto impacto (escala absoluta). Este tipo de interpretación se hace en cada una de las piezas urbanas evaluadas las cuales, para el caso de este estudio, corresponden a un total de 23 barrios en la ciudad de Bogotá.

La recolección de información y la ponderación de resultados se realizan mediante una aplicación

informática diseñada para tal fin (Figura 5). Dicha aplicación cuantifica la tendencia de impacto de cada edificación mediante un ACV, la cual acumula en una base de datos toda la información recolectada y categoriza al área urbana con impacto alto medio o bajo de acuerdo con una escala de valores preestablecida.

Las escalas relativas y absolutas, sin embargo, no son la única posibilidad de interpretación, ya que los resultados sugieren que cada edificación evaluada tiende por lo general al alto impacto. Una conclusión a priori sugeriría, por ejemplo, que la ciudad edificada constituye un elemento que no contribuye al normal desarrollo de las dinámicas ecológicas naturales, corroborando al menos conceptualmente, que lo urbanizado siempre deteriora el medio natural y establece una relación simbiótica parasitaria la mayor parte del tiempo. Esta tendencia se debe, en gran medida, a la naturaleza misma de los materiales implementados, los cuales por sí mismos tienen por ejemplo una huella de carbón alta, y una huella ecológica que supera en ocasiones hasta en 12 veces el área del edificio. Dicha afirmación, sin embargo, está sujeta a una descripción más detallada en investigaciones posteriores, dado que no se trata de una conclusión definitiva en el desarrollo de este estudio.

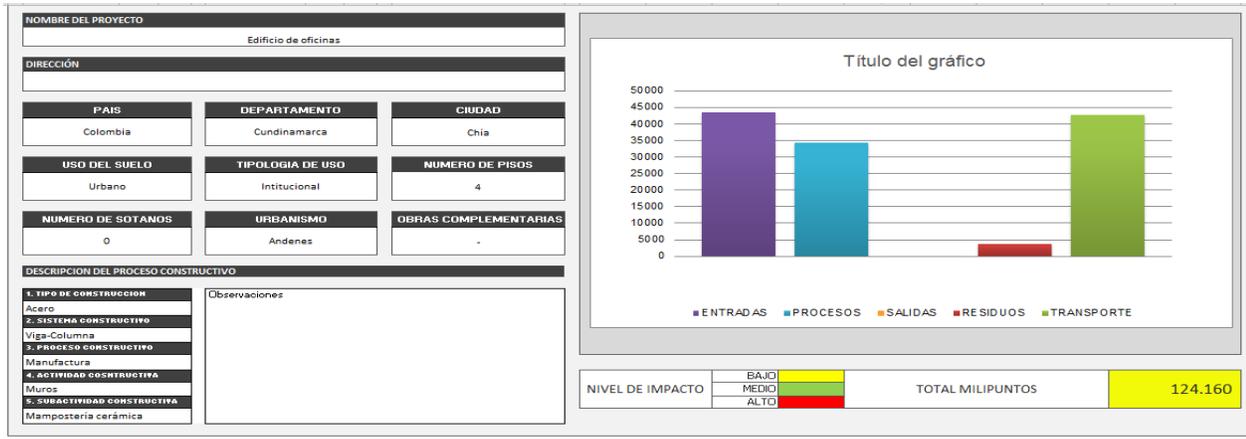


Figura 5: Software del modelo para evaluación ambiental, que muestra la tendencia de impacto durante las entradas, procesos, salidas y el transporte. El ejemplo muestra un nivel de impacto bajo, con un acumulativo de 124.160 milipuntos, lo cual indica una tendencia de recuperación entre 0 y 1 año. Este proceso puede repetirse en áreas urbanas para encontrar la tendencia de impacto de una zona determinada. El software desarrollado genera una base de datos estadística que muestra en tiempo real la tendencia de impacto urbano.

Fuente: Elaboración propia.

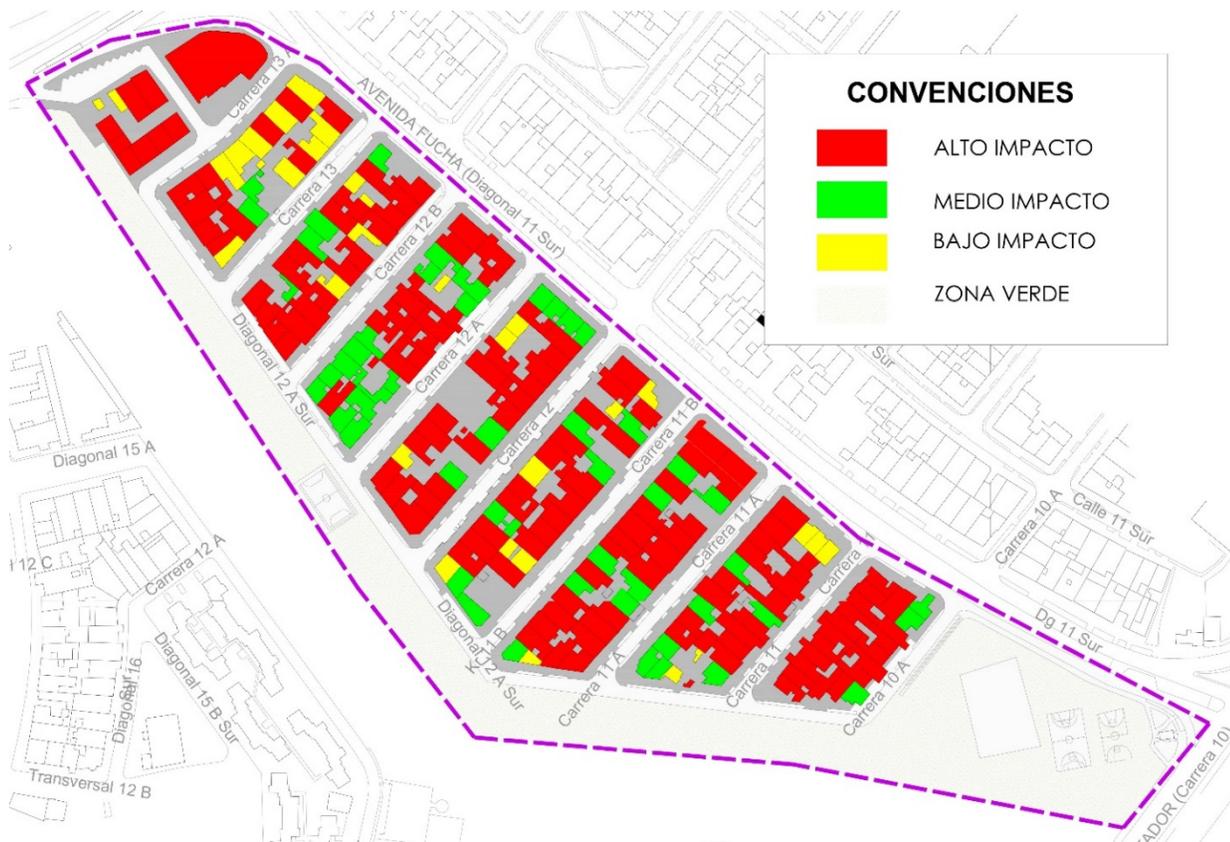


Figura 6: Escala relativa de medición en la unidad de actuación. Barrio Caracas, Bogotá, Colombia.

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de lo anterior, la evaluación realizada permite generar cartografía de impacto (negativo) susceptible de emplearse como directriz en la intervención y la planificación urbana a escala local, zonal y metropolitana. En este sentido, es posible generar un mapeo en escala absoluta que muestra la tendencia de impacto y su influencia el medio urbanizado. Dicho mapeo (Figura 7) describe el impacto producido por las construcciones existentes, y permite diseñar los criterios de intervención que ordenan el territorio en función de las características ecosistémicas del lugar (Figura 8). Este tipo de mediciones realizadas sistemáticamente en la ciudad, generan un modelo de impacto urbano que muestra el estado real del medio urbanizado, en referencia al peso ecológico que se genera.

La interpretación de los resultados, sin embargo, va más allá del estudio de la huella urbana, dado que si bien se muestra un mapeo ambiental, la evaluación ha considerado el volumen involucrado, es decir, la ciudad tridimensional versus la tendencia de impacto, la cual relaciona el tamaño del edificio con una función simple del tipo  $f(x) = mx + b$ , en donde  $m$  es la constante de impacto ambiental generado por lo edificado.

Esta interpretación explica, por ejemplo, que el impacto ambiental de la ciudad no está necesariamente definido desde la discusión de la compacidad o la dispersión urbana (Reza Shirazi, 2013). La teoría urbana orientada hacia la sostenibilidad ha sugerido que la ciudad compacta es el modelo más eficiente para ser adoptado,

sin embargo, esta afirmación no es del todo cierta. Una ciudad compacta que aglomera gran cantidad de materiales, se genera una gran presión sobre el sistema soporte, tal y como lo demuestra este estudio, y ello se debe a que el impacto de la ciudad física es acumulativo en el tiempo en tanto que el periodo de recuperación del ecosistema describe una función de tipo exponencial en donde la recuperación tiende a infinito.

Por otra parte, dado que el paradigma del desarrollo sostenible para las ciudades implica un equilibrio entre lo económico, lo social y lo ambiental, la investigación deja en entredicho la posibilidad de lograr tal objetivo, puesto que la ciudad edificada, tal como se explicó con anterioridad, es generada a través de un sistema productivo y define en sí misma un sistema desequilibrado, donde el subsistema económico de la ciudad busca a toda costa incrementar la urbanización, siendo este el único medio por el cual se genera la riqueza necesaria para dinamizar la productividad urbana (Winchester, 2006).

Paralelamente, los resultados encontrados permiten interpretar lo edificado como un potenciador de impacto. En efecto, a medida que la ciudad crece esta involucra progresivamente mayor cantidad de materiales y, en este sentido, el crecimiento urbano se define en sí mismo como un factor de alto impacto. Esta tendencia, sin embargo, no es igual cuando se realiza una valoración de lo urbano exclusivamente desde la eficiencia energética, tal y como lo ilustran los trabajos de Mercader (2013).



Figura 7: Gradiente de planificación. El gradiente de planificación indica la forma de intervención del área urbana en función del bajo impacto, dando prioridad a la rondas de río. La línea inclinada indica el límite máximo de la meseta física (límite en altura). La línea horizontal muestra la proyección económica posible, en función de la productividad del suelo. Fuente: Elaboración propia.

Una vez cuantificada la tendencia de impacto urbano y, teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se diseña un gradiente de planificación y ordenamiento para el área de estudio, cuyo objetivo es determinar la reorganización del territorio en función de lo construido bajo un modelo de mitigación, el que permite comprender el nuevo esquema de ocupación para lograr el bajo impacto. Dicho gradiente considera los resultados obtenidos de forma tal en que la ciudad edificada cerca de la ronda de río deberá, paulatinamente, decrecer en altura, es decir, reducir la cantidad de materiales involucrados para disminuir el impacto ponderado y la huella de carbón en función de ello.

De esta manera, la metodología ACV permite la interpretación del impacto ambiental mediante el estudio de la ciudad física, la cual transmite altas cargas al ecosistema. Teniendo en cuenta estas características, el diseño del gradiente de ocupación va en función de lo edificado y se convierte en un modelo de planificación, para demostrar que sí es posible “redesarrollar” lo edificado en función del impacto ambiental con un alto nivel de precisión, cuando se emplean métodos de análisis meticulosos. Sin embargo, es importante aclarar que el modelo aplicado debe manejarse desde una aplicación de software, debido a la cantidad de información manejada.

Finalmente es importante aclarar que el modelo aplicado ha considerado la evaluación ambiental explícitamente en lo edificado, en tanto el interés central de la investigación se enfoca en averiguar cómo la ciudad impacta actualmente el sistema soporte para, desde esta premisa, elaborar modelos predictivos de impacto y la forma de mitigación, pudiendo llegar fácilmente a conclusiones como el cambio de materiales para un área determinada, o el volumen de edificaciones que soporta ecológicamente un área urbana, antes de llegar al límite crítico de recuperación. Esta conclusión indica que si bien el gradiente de planificación muestra una solución obvia —como lo es la de limitar la ciudad en altura en función de la capacidad de recuperación del ecosistema—, existe la posibilidad de, por ejemplo, incluir materiales que mitigan el impacto ambiental a medida que la ciudad necesita crecer hacia arriba, sin necesidad de sacrificar la densidad poblacional. Este punto es de especial interés, al posibilitar la intervención urbana sin transformaciones drásticas del paisaje urbano.

La metodología aún no se ha implementado a

proyectos por edificar o en áreas por urbanizar, dado que para este tipo de proyectos el AVC ya posee estrategias de mitigación antes de que el proyecto (o el objeto industrial) sea materializado y, de esta manera, el resultado final lleva implícita la atenuación de impactos, siendo aún objeto de estudio en el proceso de este trabajo.

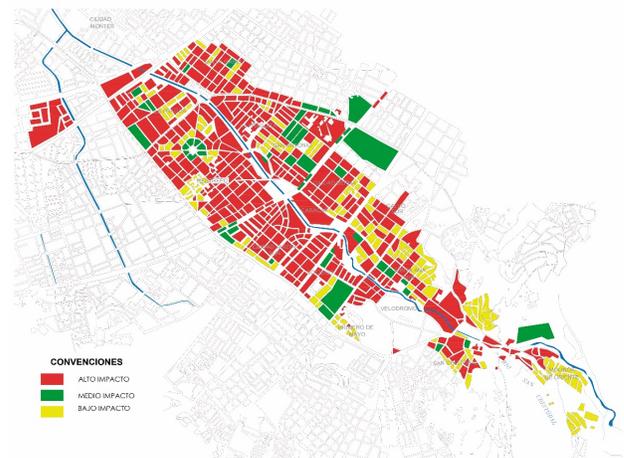


Figura 8: Mapeo de impacto en área de estudio. La gráfica muestra la tendencia de impacto en el área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

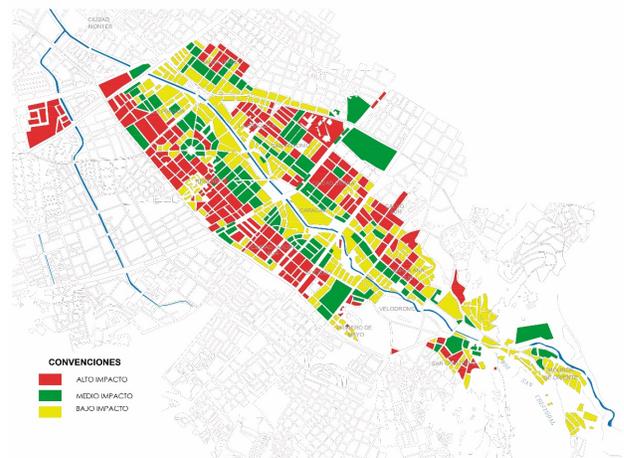


Figura 9: Mapeo propuesto de impacto en área de estudio. La gráfica muestra propuesta de impacto en el área de estudio, de acuerdo con el gradiente de planificación diseñado.

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusión y discusión

Más allá de la evaluación ambiental, las metodologías de análisis para edificios parecieran necesitar dar el siguiente paso para su desarrollo: el análisis urbano. Existen alrededor del mundo más de 130 métodos para la valoración ambiental del edificio y todos ellos describen procesos de tipo individual, sin que se contemple, al menos, la posibilidad de integrar un sistema de indicadores común que pudiera valorar los resultados obtenidos bajo un único estándar y que pudieran describir alcances a escala urbana.

De la misma manera, ningún sistema de evaluación ha asumido que, potencialmente, los resultados obtenidos pueden mostrar el comportamiento ambiental de la ciudad, al hacer una interpolación de resultados obtenidos por cada edificación. En gran medida esto se debe a que cada método de evaluación implementa indicadores y objetivos propios, dejando en entredicho los resultados de impacto que cada método ofrece, los que, en ocasiones, difieren entre sí.

Por otra parte, la visión de ciudad sostenible estructurada en el urbanismo de los años noventa, sugiere que lo compacto es sinónimo de sostenible y lo disperso de insostenible cuando se habla de ciudad; sin embargo, la discusión ambiental de lo urbano va más allá de una simple categorización, dado que en realidad su pretensión es la descripción de cómo el entorno urbano adquiere dinámicas ecosistémicas y, desde esa postura, generar la descripción meticulosa de ciudad en cada uno de los aspectos medioambientales.

Desde la aparición de LEED y todas sus derivaciones, la ciudad sostenible se ha focalizado en la eficiencia energética, siendo que este aspecto es tan solo uno de varios por considerar. Es importante para la descripción ambiental de lo urbano entender que la ciudad estudiada como materialidad, puede arrojar resultados para interpretación en lo referente a los impactos. En este sentido, al considerar la ciudad como un sistema con sus tres componentes básicos: entradas, procesos y salidas, las metodologías de evaluación pudieran interpretarse como incompletas, dado que las entradas se deben tener en cuenta los materiales involucrados, y el subsecuente análisis ambiental o la huella de carbono, entre otros aspectos.

Este aspecto, por ejemplo, es una de las ventajas del ACV como método de evaluación ambiental, ya que además de evaluar el ciclo de vida de los materiales, contempla en sus indicadores las entradas de energía. En este sentido, la metodología implementada en edificaciones precisa la tendencia de impacto y se aproxima a una descripción detallada de la problemática ambiental, proporcionando además las herramientas de mitigación necesarias. Sin embargo, esta metodología no se ha implementado a la edificación de forma activa, dado que el rigor de análisis empleado hace, en ocasiones, que el manejo de información sea poco práctico, y puesto que los materiales en el edificio tienden a ser de muchas características y naturaleza, sin la implementación de un software especializado para el análisis del ciclo de vida, la tarea de medición es todavía más dispendiosa si se trata de un ambiente a escala urbana.

Por otra parte, pese a que la realización del ACV para edificaciones es una tarea larga y en ocasiones dispendiosa, comparativamente hablando con otros métodos, los resultados son más precisos. En este sentido, la investigación logra identificar patrones de impacto con cierto tipo de materiales y, ya que estos materiales definen una constante urbana al repetirse sistemáticamente en todas las edificaciones, la tarea de ponderación de impacto a escala urbana se hace relativamente simple para categorizar áreas urbanas en su tendencia de impacto.

Para ello es importante comprender que las consideraciones de sostenibilidad ambiental aplicadas a las edificaciones y al entorno construido tienen nuevos objetivos por alcanzar, lo cual significa que en términos de análisis ambiental deben reevaluarse las herramientas empleadas para lograr que la información ambiental de edificio se tome como patrón que indica la tendencia de impacto de un área urbana, característica que se desarrolla en este trabajo.

Paralelamente, los patrones de impacto identificados sobre el área de estudio permiten interpretar lo urbano desde políticas acordes a las necesidades ecológicas de la ciudad. De esta manera, puesto que el mapeo realizado arroja resultados de alto impacto y el área de estudio se categoriza homogéneamente bajo esta característica, el desarrollo de políticas para la intervención urbana puede transformar el paisaje y reorganizarlo de una forma coherente con las necesidades del ecosistema urbano.

De esta manera, el gradiente de planificación desarrollado en este estudio, permite interpretar la ciudad desde otra perspectiva, una en la cual lo urbanizado genera patrones de construcción en altura para determinar zonas de bajo o alto impacto según sea el caso. Así, por ejemplo, el área analizada determina un gradiente progresivo con alturas determinadas, en el entendido que los volúmenes de poca altitud generan un impacto menor debido a la cantidad de materiales involucrados y a que las emisiones de carbono son menores. Sin embargo, la tendencia generalizada de las ciudades es al crecimiento horizontal (expansión) y vertical (altura en pisos), donde el gradiente diseñado puede explicar la insostenibilidad de ciudades que optan por políticas urbanas que benefician la expansión urbana. Así mismo, dicho gradiente puede convertirse en un instrumento que pondera el impacto máximo admisible de un área urbana en función del crecimiento de expansión y altura.

En este sentido, y entendiendo que la ciudad es una entidad dinámica cuyo crecimiento urbano parece inevitable, el modelo de impacto desde la perspectiva del ACV indica que existe en la ciudad edificada un límite de crecimiento y desarrollo en tanto la ciudad compacta y altamente densa, si bien reduce el consumo energético, y disminuyen (en teoría) las emisiones de carbono, demanda una gran cantidad de materiales y, en consecuencia, las emisiones de carbón aumentan considerablemente.

Finalmente, se puede concluir que la valoración en la tendencia de impacto a escala urbana permite dar un nuevo enfoque metodológico al ordenamiento territorio desde un acercamiento objetivo a la sostenibilidad de ciudad, en tanto esta información de lo edificado permite que la planificación no desconozca las características ecológicas del territorio, cuando se consideran los modelos cuantitativos de impacto.

## Referencia

- Arcas-Abella, J., Pagès-Ramón, A., y Casals-Tres, M. (2011). El futuro del hábitat: repensando la habitabilidad desde la sostenibilidad. El caso español. *Revista INVI*, 26(72), 65-93. <https://doi.org/10.4067/s0718-83582011000200003>
- Barton, J. R. (2006). Sustentabilidad urbana como planificación estratégica. *EURE* 32(96), 27-45. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612006000200003>
- Bettini, V. (1998). *Elementos de ecología urbana*. Madrid: Trotta.
- Carabaño, C. (2017). Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: The case of thermal insulation materials. *Revista de la Construcción*, 16(1), 22-32. <https://doi.org/10.7764/rdlc.16.1.22>
- Chacón V. J. (2008). Historia ampliada y comentada del análisis del ciclo de vida (ACV). *Revista Colombiana de Ingeniería*, 72(18), 37-70.
- Di Pace, M. (2004). *Ecología de la ciudad*. Buenos Aires: Prometeo libros.
- Fowler, M. & Rauch, M. (2006). *Sustainable Building Rating Systems Summary*. Recuperado de [http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical\\_reports/PNNL-15858.pdf](http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-15858.pdf)
- Goedkoop, M., Effting, S., & Collignon, M. (1999). *Eco-Indicator '99*. Amsterdam: Ministerio Holandés del Medio Ambiente.
- Goncalves, J. y Haddad, N. (2016). Evaluación de ciclo de vida de materiales de edificaciones: estudio de caso en complejo de viviendas. *Revista de la Construcción*, 15(2), 69-77. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/1276/127647572007.pdf>
- Hermida, M., Hemida, C., Cabrera, N., y Calle, C. (2015). La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad. El caso de Cuenca-Ecuador. *EURE*, 41(124) 25-44. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612015000400002>
- Martínez, M. (2013). *Arquitectura homeostática: desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Martínez, P., González, V., y Da Fonseca, E. (2009). Integración conceptual Green-Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(1), 5-32. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732009000100001>
- Mercader, P. (2013). El impacto ambiental en la edificación y su relación con las tipologías edificatorias residenciales: el diseño urbano y el estudio de la ciudad como estrategia de sostenibilidad. Trabajo presentado en el *Workshop on environmental impact of Buildings*, Madrid, España.
- Reza Shirazi, M. (2013). Sustainable planning for a quasi-urban region, necessities and challenges: the case of Tehran-Karaj. *Planning Perspectives*, 28(3), 441-460. <https://doi.org/10.1080/02665433.2013.774535>
- Rodríguez, L. y Zumelzu, E. (2014). Diseño urbano y sentido de lugar: análisis de lugares. *Revista de Urbanismo*, 16(30), 69-78. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2014.30879>
- Rodríguez, F. y Fernández, G. (2010). Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 147-160. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732010000200001>
- Winchester, L. (2006). Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *EURE* 32(96), 7-25. <https://doi.org/10.4067/s0250-71612006000200002>