

Evaluación del factor de habitabilidad en las edificaciones sostenibles¹

Rolando Arturo Cubillos-González² (a) & Claudia Milena Rodríguez-Álvarez³ (b)

(a) Facultad de arquitectura, (b) Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia

Grupo de investigación sostenibilidad, medio ambiente y tecnología en arquitectura, SOMET

Fecha de recepción: 24/04/2013. Fecha de aceptación: 15/06/2013.

Resumen

El artículo realiza una reflexión sobre el concepto de habitabilidad como variable de evaluación de las edificaciones sostenibles. En la actualidad el concepto de habitabilidad se ha convertido en un elemento relevante para el diseño y la construcción de edificaciones. El crecimiento poblacional y el cambio climático afectan dicho factor. Un mal diseño de las edificaciones ocasiona que estas no respondan a las nuevas condiciones ambientales y de disponibilidad de recursos. En consecuencia, el cambio en las condiciones de habitabilidad debe estar dirigido a diseñar ciudades y edificaciones resilientes que permitan una adecuada solución a estos fenómenos. El artículo plantea un modelo que permita la posibilidad de realizar innovación en el diseño de edificaciones y ciudades resilientes, para realizar un software que evalúe y oriente las variables de diseño hacia la habitabilidad como factor de sostenibilidad. El artículo concluye con una propuesta aplicada al contexto de Bogotá.

Palabras clave

Habitabilidad, sostenibilidad, diseño de edificaciones, simulación, hábitat.

.....

¹El artículo proviene de la investigación "La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad", desarrollada en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura-CIFAR de la Universidad Católica de Colombia.

²Arquitecto, Universidad Nacional de Colombia. MSc en Hábitat, Universidad Nacional de Colombia.
racubillos@ucatolica.edu.co

Habitability-factor testing for sustainable buildings

Abstract

The article carries out a meditation on the concept of habitability as an evaluation factor for sustainable buildings. Currently the concept of habitability has become an important tool in design and construction. Population growth and climate change affect this factor. Poorly designed buildings do not meet new environmental conditions and do not act in response to resource availability. Therefore, the change in living conditions should trigger the design of resilient cities and buildings, to provide adequate solutions to these phenomena. The article proposes a model that allows for innovation in the design of resilient buildings and cities, as well as for software for evaluating and guiding design variables towards habitability as a sustainability factor. The article concludes applying a proposal specifically to Bogotá's conditions.

Keywords

Habitability, sustainability, building design, simulation, habitat.

.....

³Ingeniera de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. MSc en Ingeniería Área Sistemas y Computación, Universidad de los Andes.
cmrodriguez@ucatolica.edu.co

Introducción

Se puede definir la habitabilidad como la capacidad que tiene un edificio para asegurar condiciones mínimas de confort y salubridad a sus habitantes. En la actualidad el concepto de habitabilidad⁴ se ha convertido en un elemento relevante para el diseño y la construcción de edificaciones. Un mal diseño de la edificación, ocasiona que no se responda a las condiciones ambientales y de disponibilidad de recursos que demandan las construcciones, por tanto, genera un mayor impacto ambiental y compromete la salud de los habitantes, puesto que los edificios “una vez construidos, continúan siendo una causa directa de contaminación por las emisiones que producen o el impacto sobre el territorio y son una fuente indirecta de contaminación por el consumo de energía y agua necesarios para su funcionamiento” (Ramírez, 2002: 30). Además, elementos externos como el crecimiento poblacional y el cambio climático afectan dicho factor, es decir, para que sea viable la producción de edificaciones, la ciudad enfrenta una alta demanda de recursos y energía, y por tanto, se comprometen la habitabilidad y la sostenibilidad de las edificaciones.

Si se hiciera una analogía con los seres vivos, se podría decir que esta demanda de recursos produce en las edificaciones y la ciudad impactos ambientales que requieren que estos elementos recuperen el equilibrio con el ambiente para que puedan ser sostenibles en el tiempo. Efectivamente, “La sociedad debe sentir la necesidad de recuperar el concepto de ciudad próspera y cohesionada de manera que mejorando su integración en el territorio y el medio natural se reduzca su impacto ambiental” (Ramírez, 2002: 31), de modo que la respuesta debe estar dirigida a diseñar edificaciones y ciudades resilientes que permitan una adecuada solución a esos fenómenos.

En consecuencia, el artículo propone la habitabilidad como una variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad, buscando plantear una validación de un modelo de gestión de información que permita la posibilidad de realizar innovación en el diseño, la tecnología y la calidad habitacional. Es importante anotar que, en el proceso de desarrollo del proyecto de investigación se concluyó que el diseño de un sistema de gestión de información que evaluara la habitabilidad de cualquier tipo de edificio requeriría de mucho tiempo y esfuerzo, desbordando los alcances y recursos del proyecto de investigación. Asimismo, se halló que un buen ejemplo de análisis del factor de la habitabilidad en las edificaciones era la vivienda. Por tal razón, el artículo propone el ajuste y la validación del sistema de gestión de información de vivienda de interés social propuesto en la investigación *Diseño de Prototipos flexibles de vivienda de interés social* (Cubillos, 2010).

.....
⁴Razón de ser de la arquitectura que por diversos motivos se ha olvidado y que no sobra recordarlo, y ahora es necesario realizar este tipo de valoraciones (Nota Árbitro NODO).

El equipo de investigación valoró dicho sistema y llegó a la conclusión de que era viable ajustar los parámetros iniciales del sistema de gestión de información para incluirle el factor de habitabilidad como variable de diseño, y proyectarlo como un sistema de gestión general enfocado a la habitabilidad en la vivienda. En este proceso se identificó que la flexibilidad se convierte en un componente clave a la hora de evaluar el factor de habitabilidad de cualquier edificación. A partir de este sistema de gestión se propuso un prototipo de software de evaluación y diseño que está orientado hacia la evaluación de la habitabilidad como factor de sostenibilidad. El prototipo tiene la capacidad de modelar y simular los factores de flexibilidad de la vivienda, cruzar dicha información con cálculos bioclimáticos e indicadores sociales. El cruce de dichas variables permitió identificar el factor de habitabilidad de la vivienda y valorar su grado de sostenibilidad. El prototipo se encuentra en etapa de complementación y espera una segunda etapa de desarrollo.

Metodología

Desde la teoría de sistemas, se generó un método que partió del concepto de habitabilidad como sistema que integra los tres pilares de la sostenibilidad, estos son: la dimensión social, la dimensión económica y la dimensión ambiental (Brundtland, 1987). Por lo tanto, el marco metodológico se construyó desde la perspectiva del pensamiento sostenible (Naciones Unidas, 1993). Para determinar los avances de la investigación, primero se propuso la conceptualización a través de árboles de problemas para identificar las variables de la habitabilidad. Segundo, se utilizó el concepto de habitabilidad como factor de sostenibilidad en el hábitat, particularmente en la ciudad de Bogotá. Para lograr estos objetivos, las herramientas metodológicas aplicadas fueron las siguientes. *Árbol de problemas y objetivos*: esta técnica se utiliza para facilitar la identificación y organización de las causas y efectos de un problema. Se caracteriza por ser una técnica que identifica el problema y organizar la información recolectada, creando un modelo de relaciones causales que lo explican. *Identificación de patrones*: esta herramienta se utiliza básicamente para la sistematización e identificación de variables. Es una técnica que consiste en el reconocimiento de patrones en un contexto específico. Los patrones se obtienen a partir de la descripción e identificación de las características de los objetos de estudio. *Simulación*: es un método para describir el comportamiento y la estructura de un sistema complejo y evaluar su comportamiento. Con la simulación se puede realizar diversos experimentos en un computador y validar una hipótesis a partir del estudio de diferentes escenarios. *Metodología ágil XP (extreme Programming)*: es un método de ingeniería que se utiliza para el desarrollo de software en tiempos

muy cortos. El desarrollo del trabajo se soporta en el trabajo en equipos multidisciplinarios y la adición incremental de información. El método ágil enfatiza la comunicación entre los integrantes del equipo. Con estas herramientas metodológicas se desarrolló la investigación de manera racional y permitió que las variables de habitabilidad se identificaran objetivamente.

Resultados

Los resultados se dirigieron hacia la generación de nuevo conocimiento y la vinculación de estos productos con el pregrado y las nuevas propuestas de posgrado de la Facultad de arquitectura. A continuación se describen dichos productos: Primero, el proyecto vinculó a diferentes docentes del programa de arquitectura e ingeniería de sistemas, fortaleciendo los marcos teóricos y conceptuales de los dos currículos. Asimismo, la investigación permitió el fortalecimiento de la línea de investigación “Tecnología, medio ambiente y sostenibilidad en Bogotá, siglos XX y XXI” y de tres grupos de investigación de las dos facultades: Sostenibilidad, medioambiente y tecnología (SOMET); Cultura, espacio y medioambiente urbano (CEMA); Grupo de investigación en software inteligente y conversión tecnológica (GISIC). Segundo, se realizó un prototipo de evaluación del factor de habitabilidad para el diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad, utilizando el método ágil XP. La experiencia en la utilización de dicho método permitió al equipo investigador fortalecer su experiencia en el trabajo multidisciplinario y en la utilización de herramientas TIC para el desarrollo del trabajo investigativo. Por ejemplo, para el desarrollo de las iteraciones, las cuales permitían construir los requerimientos del prototipo, el equipo de ingeniería de sistemas diseñó una plataforma en la web que admitía a los diferentes investigadores del equipo multidisciplinario, la introducción de la información en tiempo real y la actualización de los requerimientos. Lo que redujo el tiempo de diseño de la estructura del prototipo del software de manera rápida (ver gráficas 1 y 2).



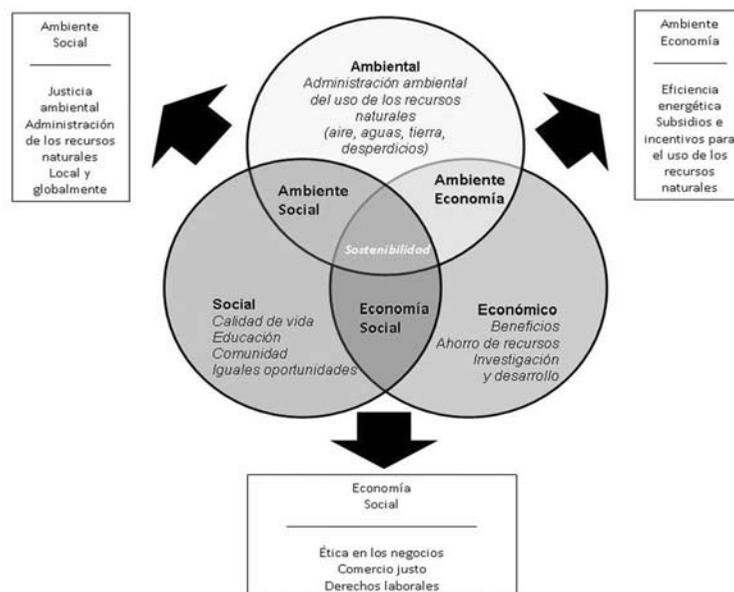
Gráfica 1. Plataforma Web para el desarrollo del software prototipo. **Fuente:** (Pestana, 2013).

ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	
Identificador	Nombre
RI	Registrar información de zonas.
Historia de Usuario a la que pertenece: Creación de Zonas Censales	
Prioridad de Desarrollo: Alta	
Entrega: Sí/No	
Nombre de la zona. Lateral. Longitud. Altura (Dado en metros). Radio de cobertura (Dado en metros). Índice de ocupación.	
Se visualiza en pantalla, una lista con la información que se almacenó en la base de datos.	
Descripción	
PRECONDICIÓN	POSCONDICIÓN
No Aplica	El sistema guarda en la base de datos la información que se ingresó en el formulario. Luego se visualiza en la pantalla una lista con la información que se ingresó en el sistema.
Manejo de Situaciones Anormales	
Un campo del formulario que es obligatorio y está sin diligenciar, al momento de intentar almacenar la información en la BD genera un mensaje de error. Un dato ingresado en el formulario tiene errores de formato. (es incompatible con el tipo de dato o excede el tamaño establecido). Por lo tanto, se visualizará un mensaje de error en pantalla.	
Criterios de Aceptación	
Si hay algún campo del formulario que es obligatorio y está sin diligenciar, al momento de intentar almacenar la información en la BD del sistema, se visualizará en pantalla un mensaje de error como el siguiente: "Por favor diligencie todos los campos del registro que son obligatorios". Si se ingresa un dato en el formulario que es incompatible con el tipo de dato asignado al campo, se visualizará en pantalla el mensaje de error: "Datos incompatibles. Por favor, verifique la información dentro del formulario". Si se ingresa un dato en el formulario que excede la longitud establecida para el campo, se visualizará en pantalla el mensaje de error: "La información ingresada en el campo [registro] excede la longitud establecida". Donde [registro] es el nombre del campo que se va a diligenciar. Si todos los campos del formulario están debidamente diligenciados, al momento de guardar	

Gráfica 2. Reporte de lista de requerimientos para el diseño del prototipo del software. **Fuente:** (Pestana, 2013).

La habitabilidad, un factor de sostenibilidad

Como se menciono antes: “La habitabilidad se puede definir como la capacidad que tiene un edificio para asegurar condiciones mínimas de confort y salubridad a sus habitantes”. Es decir, es la relación que existe entre las necesidades de una comunidad o un individuo y el uso eficiente de los recursos naturales por medio de la utilización de un edificio.



Gráfica 3. Modelo de los pilares de la sostenibilidad.

Fuente: elaboración propia a partir de los gráficos de Beach (2010) y Sikdar (2003).

Para hablar de habitabilidad como factor de sostenibilidad, primero debemos definir sostenibilidad. La sostenibilidad se define como “la interdependencia entre las sociedades humanas y el entorno natural” (Fiksel et al, 2012: 4). Hoy esa interrelación está en peligro, ya que “Los patrones actuales de desarrollo económico y social están poniendo presiones sobre los recursos naturales y pueden amenazar la salud continua y la prosperidad de las sociedades humanas” (Fiksel et al, 2012: 4). Según el informe Brundtland, la presión de estos patrones puede ser resuelta con determinación por el hombre:

“El progreso humano ha dependido siempre de nuestro ingenio técnico y una capacidad para una acción cooperativa. Estas cualidades se han utilizado a menudo de forma constructiva para lograr el desarrollo y el progreso del medio ambiente: en el control de la contaminación del aire y del agua, por ejemplo, y en el aumento de la eficiencia del uso de materiales y energía” (1987: 49).

Sin embargo, la falta de relación entre las diferentes dimensiones que permiten que se genere la sostenibilidad, puede causar muchos problemas a la especie humana:

“Los problemas ambientales y económicos están ligados a muchos factores sociales y políticos. Por ejemplo, el crecimiento rápido de la población que tiene tan profundo impacto sobre el medio ambiente y el desarrollo en muchas regiones impulsada en parte por factores tales como la condición de la mujer en la sociedad y otros valores culturales. Además, el estrés ambiental y el desarrollo desigual pueden aumentar las tensiones sociales” (Brundtland, 1987: 49).

Es así como aparece el concepto de los tres pilares o dimensiones de la sostenibilidad (Beach, 2010), las cuales dan una visión holística direccionada a la integración del problema de la sostenibilidad. De estos tres pilares se derivan los indicadores de sostenibilidad. En la gráfica 3 se observan de sostenibilidad. En la gráfica 3 se observan los tres pilares de la sostenibilidad, estos son: i) *el pilar ambiental*. Esta dimensión está determinada por una adecuada administración del ambiente. Es decir, por el adecuado uso de los recursos naturales. Como por ejemplo: el aire, el agua, la tierra y los desperdicios generados por el hombre; ii) *el pilar económico*. Esta dimensión está determinada por un adecuado uso del beneficio económico, orientado al ahorro y a la eficiencia de recursos naturales. En esta dimensión es de crucial importancia la



Gráfica 4. Áreas de investigación de las edificaciones orientadas a la sostenibilidad. **Fuente:** elaboración propia a partir de los gráficos de Beach (2010) y Sikdar (2003).

investigación y el desarrollo tecnológico; y iii) *el pilar social*. Esta dimensión está determinada por indicadores como son la ética en los negocios, el comercio justo y los derechos laborales.

En síntesis, los tres pilares de la sostenibilidad buscan orientar el desarrollo de las sociedades humanas hacia la sostenibilidad. Es importante anotar, que el modelo de comprensión de los tres pilares de la sostenibilidad no es el único modelo existente (Keiner, 2005). Existen otros modelos, como el modelo de reservas de capital de desarrollo sostenible (*Capital stocks of sustainable development*) diseñado por el Banco Mundial; el modelo alternativo del prisma de sostenibilidad (*Prism of sustainability*) propuesto por J. H. Kain en el 2000; y por último, el modelo del huevo de la sostenibilidad (*The egg of sustainability*) propuesto por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for the Conservation of Nature-IUCN*), y diseñado en 1994.

Ahora bien, el interés del Centro de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Colombia (CIFAR), es el estudio de las intersecciones que se presentan en el modelo

de los tres pilares. Ya que dicho modelo es el asumido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Además, se presenta un contexto de interés en el desarrollo de investigaciones que estudien las edificaciones que estén diseñadas con parámetros de sostenibilidad. Este tipo de estudios permiten determinar tres áreas de trabajo. Estas tres áreas son: la eficiencia, la equidad y la habitabilidad (ver gráfica 4).

La eficiencia se presenta cuando se entabla una relación entre la dimensión ambiental y la dimensión económica en un hábitat humano. En donde se muestra un enlace entre el uso de los recursos naturales con diferentes modelos económicos, que admiten que los recursos sean administrados de manera adecuada y no generen un alto impacto en el medio ambiente.

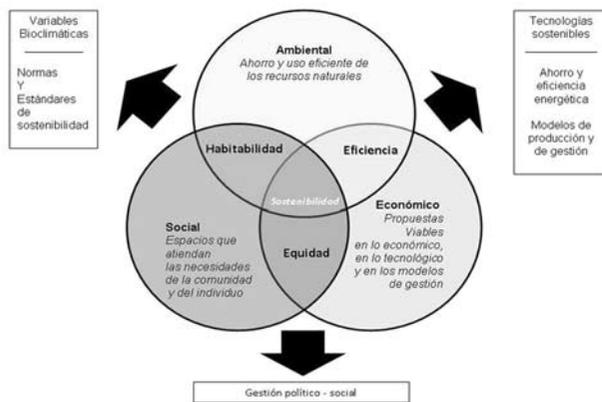
La equidad es la relación entre la dimensión social y la dimensión económica en un contexto social. Básicamente es la relación entre las necesidades espaciales del hombre con los modelos económicos que las hacen viables. Es importante aclarar que, la dimensión económica no cubre únicamente la dimensión financiera, pues cubre otras dimensiones como son los modelos de producción y de gestión.

La habitabilidad surge de la relación de la dimensión social con la dimensión ambiental en un contexto construido. En donde, elementos como el uso eficiente de recursos naturales se relacionan con la dimensión espacial para atender las necesidades humanas. Es en esta relación que surge la habitabilidad y permite que ella sea uno de los factores determinantes en la construcción de una adecuada sostenibilidad.

En síntesis, la sostenibilidad es la relación entre el hombre y la naturaleza, en donde, los patrones económicos y sociales deben estar en equilibrio para que estos no ejerzan presión al ambiente y no amenacen la existencia del hombre. Tres son

las dimensiones de relación que permiten dicho equilibrio: la dimensión económica, la dimensión social y la dimensión ambiental. A su vez, tres son las áreas de interrelación que se presentan en la sostenibilidad: la eficiencia, la equidad y la habitabilidad.

Estas tres áreas pueden ser entendidas como factores de comprensión de la sostenibilidad y requieren de un mayor estudio para encontrar respuestas adecuadas a la construcción de estándares orientados a la sostenibilidad (ver gráfica 5). En este orden de ideas, para entender el concepto de habitabilidad como un factor de sostenibilidad, se deben identificar los agentes que la afectan. En el tema de la habitabilidad se han identificado tres agentes: el crecimiento poblacional, el cambio climático y el impacto ambiental. A continuación, se describen cada uno de estos elementos.



Gráfica 5. Temas de estudio de las edificaciones orientadas a la sostenibilidad. **Fuente:** elaboración propia a partir de los gráficos de Beach (2010) y Sikdar (2003).

◆ **Primer agente que afecta de habitabilidad: el crecimiento poblacional**

El Departamento de Planeación Nacional ha realizado estudios en los cuales los resultados han arrojado que el 80% de la población colombiana en las próximas décadas vivirá en ciudades (DNP, 2009) y este aumento poblacional se verá reflejado en un aumento de la demanda de edificaciones. Por ejemplo, actualmente en la ciudad de Bogotá el 70%

de las edificaciones son viviendas (Escallón, 2010a), y su calidad habitacional es de un 40% (Escallón, 2010b). Esta baja calidad de las edificaciones no satisfacen las necesidades de los usuarios, propiciando el aumento de la necesidad de flexibilidad y adaptación espacial (Cubillos, 2006), además de una mayor demanda de espacio público y de accesibilidad a nivel arquitectónico y urbano. En el caso de Bogotá una consecuencia directa del crecimiento poblacional es el cambio en las condiciones de habitabilidad de la ciudad y de las edificaciones. Según Clemencia Escallón:

“En la agrupación y espacios privados el llamado de atención es fuerte: en ninguna de las categorías se logra cumplir más allá del 45% las condiciones esperadas de calidad, y se analiza por zonas urbanas en Bogotá y la sabana, el promedio general es de un 65,5% en no VIS y un 45% en VIS.” (Escallón & Rodríguez, 2010c: 14).

Por consiguiente, al generarse una mayor producción de edificaciones en la ciudad por parte del mercado, se presenta un fenómeno de menor calidad en los espacios habitables debido a la alta demanda. Esta deficiencia de calidad se refleja particularmente en las agrupaciones de vivienda. En resumen, la reducción espacial de las edificaciones y del espacio público causado por la demanda en el crecimiento poblacional, afecta la habitabilidad de la ciudad y no la hace sostenible. A su vez, la respuesta del mercado es una alta producción de vivienda en masa (CAMACOL, 2009), ocasionando en el ambiente un alto consumo de recursos y energía para que sea viable la producción de edificaciones dentro de la ciudad.

◆ **Segundo agente que afecta de habitabilidad: el cambio climático**

Hoy el planeta se enfrenta a un comportamiento del clima de manera no convencional, este tipo de conducta afecta directamente la habitabilidad de las edificaciones, ya que es necesario que el diseño de las mismas tenga en cuenta este elemento para generar un tipo de edificación que las haga viables

y habitables en el tiempo. En este contexto, variables como el confort ambiental y el bienestar de los habitantes se hacen relevantes. Efectivamente, según estudios del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial el impacto del cambio climático en Colombia afecta los recursos que demandan las ciudades colombianas y aumenta el riesgo de vulnerabilidad de las edificaciones, en especial el de las viviendas:

“La disminución del área de los páramos reducirá la oferta de agua para aquellas ciudades y zonas agrícolas que se encuentren en áreas de subpáramo o en zonas de ladera (donde se cultiva especialmente papa). En el litoral Caribe el 9 % de las viviendas urbanas presentan alta vulnerabilidad a la inundación; mientras que el sector rural llega al 46%. En el litoral pacífico el 48% de las viviendas del sector urbano y el 87% del sector rural son altamente vulnerables” (MAVDT, 2009: 14).

El cambio Climático es “la variación del clima causada directa o indirectamente por la actividad humana” (MAVDT, 2009: 2). En el caso de Colombia, durante el 2008 Colombia enfrentó una alta temporada de lluvias que superó los niveles de precipitación (MAVDT, 2009: 30). En el caso de Bogotá, este fenómeno ha aumentado el riesgo en diferentes zonas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012: 3-4) y enfatizando la posibilidad de remoción en masa por el impacto ambiental causado por la intervención antrópica. Según la Alcaldía Mayor de Bogotá:

“los fenómenos de remoción en masa se presentan a lo largo de los cerros orientales, del sur, de Suba y sus respectivas franjas de piedemonte. En principio estos fenómenos tienen una causa natural, ya que muchas de las laderas que conforman los cerros de Bogotá tienen una predisposición a la generación de deslizamientos; a esto se sumó la intervención de los cerros por medio de explotación de canteras y la adecuación de terrenos para la construcción de vivienda” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012: 1).

Por consiguiente, el impacto que hoy se produce en dichas zonas por estas acciones, aumenta a futuro la vulnerabilidad del ambiente. Esto, combinado con el proceso de cambio climático, representa un potencial riesgo de desastre ya que: “estudios realizados por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial han determinado que el cambio climático ha vulnerado aspectos que deben ser atendidos de manera prioritaria” (MAVDT, 2009: 14). Según estos argumentos, si no se controla los actuales impactos ambientales, un gran número de edificaciones en diferentes áreas del país y de Bogotá se verán afectadas por fenómenos naturales, que serán acentuados por el cambio climático.

◆Tercer agente que afecta de la habitabilidad: el impacto ambiental de la industria de la construcción

El crecimiento poblacional implica la densificación de las ciudades. A su vez, la densificación causa una mayor demanda y consumo de recursos. En este orden de ideas uno de los sectores de más alta contaminación es la construcción. Porque este sector utiliza procesos de producción que no se orientan a la sostenibilidad y causan un alto impacto ambiental. Efectivamente, se ha calculado que la industria de la construcción consume entre un 47% a un 50% de los recursos mundiales, “lo que la convierte en una de las actividades menos sostenibles del planeta” (Edwards, 2001: 1).

Para lograr el objetivo de que Bogotá sea una ciudad que mitigue este fenómeno, se hace necesario el estudio de aspectos como los materiales, la eficiencia energética y la racionalización del suelo desde el diseño y la arquitectura. Entonces, una posible respuesta a estos problemas pueda provenir de la tecnología sostenible, para que herramientas como el diseño y disciplinas como la arquitectura encuentren una respuesta al problema del impacto ambiental. Ya que, es la utilización de dichas tecnologías lo que puede generar un adecuado hábitat de bajo impacto ambiental en Bogotá.

“Lo que se busca con la idea de tecnología sostenible es que las edificaciones generen su propia energía, capten y reciclen su propia agua, utilicen menos materiales y a su vez mantengan el equilibrio entre la producción de CO₂ y oxígeno” (Cubillos, 2012: 70).

Para materializar esta idea sobre el diseño de edificaciones sostenibles se requiere de una tecnología sostenible que las haga viables. En conclusión, el estudio de diferentes tecnologías orientadas a la sostenibilidad hace posible la construcción de edificaciones sostenibles, facilitando el avance en las respuestas que reduzcan los efectos del impacto ambiental. La responsabilidad de este tipo de soluciones debe provenir de los procesos de diseño de la arquitectura.

Edificaciones que no satisfacen las necesidades de los usuarios

Para que una edificación sea habitable debe satisfacer las siguientes necesidades de los usuarios:

- ◆Necesidad de flexibilidad.
- ◆Necesidad de que las edificaciones estén relacionadas con un mayor espacio público.



Gráfica 6. Ajustes propuestos para la modificación del Código de Construcciones de Bogotá. **Fuente:** (Escallón, 2010a:19).

- ◆ Necesidad de accesibilidad a nivel arquitectónico y urbano.
- ◆ Necesidad de que las edificaciones estén relacionadas con una ciudad que gestione el consumo y ahorro de energía.
- ◆ Necesidad de eficiencia en sus procesos de producción y gestión.

Se requiere entonces que todas estas variables sean incluidas en los procesos de diseño de las edificaciones. En Bogotá por ejemplo, en los últimos años se han implementado acciones que permiten enfrentar de una manera diferente la construcción de espacios y ofrecer soluciones alternativas al mejoramiento de la habitabilidad. Una de estas acciones es la actualización del Código de Construcciones de la Ciudad (Escallón, 2010a), ver gráfica 6. En dicha actualización, se ha involucrado el tema de la habitabilidad como factor de sostenibilidad. Efectivamente, el enfoque en el cual se ha ajustado el código es hacia la sostenibilidad, teniendo como factores principales la seguridad, la salubridad y la habitabilidad. Teniendo como elementos de evaluación para garantizar el derecho a: Vida, Calidad de

vida, Seguridad, Tranquilidad, Salubridad, Medio ambiente sano, Vivienda digna, Desarrollo urbano ordenado (Escallón, 2010a: 20).

Aun así, el tema requiere que se desarrolle de manera amplia y se implemente a nivel cultural, para que sea apropiado por la comunidad y las instituciones. Además, es necesario, el diseño de nuevas herramientas que permitan que esta implementación a nivel normativa haga viable y posible un adecuado diseño sostenible en la ciudad.

Cambio en las condiciones de habitabilidad de la ciudad y las edificaciones

Actualmente, Bogotá requiere de un cambio en las condiciones de habitabilidad de la ciudad y las edificaciones. Se debe responder de manera ágil al riesgo de desastre que plantea el cambio climático en la ciudad. Asimismo se debe generar unos procesos de diseño y producción que permitan el desarrollo de edificaciones que sean sostenibles a largo plazo. Es por esta razón, que se hace necesario incluir el

concepto de resiliencia discutido en la conferencia de las Naciones Unidas Río + 20. Se entiende por resiliencia la capacidad que tiene un sistema para resistir diversas alteraciones sin que se afecte significativamente su estructura original. En el caso de la ciudad y las edificaciones, lo que se busca es que estas sean resilientes a los tres agentes que afectan la habitabilidad, es decir, el crecimiento demográfico, el cambio climático y el impacto ambiental de la industria de la construcción

Una ciudad resiliente es la que admite el proceso de densificación originado por la demanda del crecimiento poblacional, sin que se afecte su capacidad de habitabilidad en los espacios edificatorios o los espacios públicos. Asimismo, una ciudad es resiliente cuando minimiza el impacto del cambio climático, reduciendo los factores de riesgo por inundación, sismo, etc. Es decir, el diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad debería tener la propiedad de ser resilientes.

Según los planteamientos de las Naciones Unidas con su programa *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres*, se proponen diez aspectos esenciales para lograr una ciudad resiliente, estos son (ONU, 2012: 25):

- ◆ “Establezca la organización y la coordinación necesarias para comprender y reducir el riesgo de desastre dentro de los gobiernos locales, con base en la participación de los grupos de ciudadanos y de la sociedad civil —establezca alianzas locales.
- ◆ Vele porque todos los departamentos comprendan su papel y la contribución que pueden hacer a la reducción del riesgo de desastres y a la preparación en caso de éstos.
- ◆ Asigne un presupuesto para la reducción del riesgo de desastres y ofrezca incentivos a los propietarios de viviendas, las familias de bajos ingresos, las comunidades, los negocios y el sector público para que inviertan en la reducción de los riesgos que enfrentan.
- ◆ Mantenga información actualizada sobre las amenazas y las vulnerabilidades, conduzca evaluaciones del riesgo y utilícelas como base para los planes y las decisiones relativas al desarrollo urbano. Vele porque esta información y los planes para la resiliencia de su ciudad estén disponibles a todo el público y

que se converse acerca de estos propósitos en su totalidad.

- ◆ Invierta y mantenga una infraestructura que reduzca el riesgo, tales como desagües para evitar inundaciones y, según sea necesario, ajústela de forma tal que pueda hacer frente al cambio climático.
- ◆ Evalúe la seguridad de todas las escuelas e instalaciones de salud y mejórelas cuando sea necesario.
- ◆ Aplique y haga cumplir reglamentos de construcción y principios para la planificación del uso del suelo que sean realistas y que cumplan con los aspectos relativos al riesgo. Identifique terrenos seguros para los ciudadanos de bajos ingresos y, cuando sea factible, modernice los asentamientos informales.
- ◆ Vele por el establecimiento de programas educativos y de capacitación sobre la reducción del riesgo de desastres, tanto en las escuelas como en las comunidades locales.
- ◆ Proteja los ecosistemas y las zonas naturales de amortiguamiento para mitigar las inundaciones, las marejadas ciclónicas y otras amenazas a las que su ciudad podría ser vulnerable. Adáptese al cambio climático al recurrir a las buenas prácticas para la reducción del riesgo.
- ◆ Instale sistemas de alerta temprana y desarrolle las capacidades para la gestión de emergencias en su ciudad, y lleve a cabo con regularidad simulacros para la preparación del público en general, en los cuales participen todos los habitantes.
- ◆ Después de un desastre, vele porque las necesidades de los sobrevivientes se sitúen al centro de los esfuerzos de reconstrucción, y que se les apoye y a sus organizaciones comunitarias para el diseño y la aplicación de respuestas, lo que incluye la reconstrucción de sus hogares y sus medios de sustento”.

Estas recomendaciones permiten medir el factor de habitabilidad de edificaciones y ciudades, y apoyan la posibilidad de que se mantengan en buenas condiciones de habitabilidad en el tiempo, a pesar de los disturbios sísmicos o los generados por el cambio climático, en otras palabras, fomentan su resiliencia.

Malos diseños en la edificación que causan síndrome del edificio enfermo (OMS)

Actualmente, la mayoría de las edificaciones que se construyen en la ciudad no responden adecuadamente a la necesidad de habitabilidad de los usuarios. La mala utilización de materiales, la aplicación de métodos de construcción de alto impacto ambiental, la falta de soluciones a los requerimientos de diseño acústico, la falta de planeación para el control de la contaminación del agua y el aire, y por último, la generación de una mala ventilación en el edificio, causan el Síndrome del edificio enfermo (definición propuesta por la organización Mundial de la Salud).

En este sentido, el *Building Research Establishment* (BRE) ha desarrollado una nueva herramienta para el cálculo del costo de la salud en la vivienda social de Gran Bretaña. La aplicación calcula los costos de salud y los peligros que se pueden presentar, debido a malos diseños y al uso inadecuado de las viviendas por parte de los habitantes de una vivienda. Estos datos son esenciales para cuantificar el impacto en la salud generado por un mal diseño de la vivienda. Se hace necesario entonces, evaluar y diseñar herramientas que permitan la identificación de la variable de la salud en las edificaciones para que puedan tener las condiciones adecuadas, para que la habitabilidad sea óptima y responda a la sostenibilidad. Por ejemplo, esta evaluación podría realizarse a través de modelos de gestión de información. Los cuales permiten cruzar la información y presentar un diagnóstico cercano a la realidad, el cual admita la toma de decisiones para el diseño y desarrollo de una adecuada habitabilidad de las edificaciones.

La necesidad de la evaluación de la habitabilidad en las edificaciones sostenibles

A lo largo de este artículo se planteó la idea de que, la sostenibilidad es la interdependencia entre el hombre y el ambiente. Hoy esa relación está en peligro, porque los patrones económicos y sociales están generando presiones sobre el ambiente y amenazan la existencia del hombre. Por lo tanto, esto puede causar muchos problemas en términos de sostenibilidad. Para solucionar estos problemas, se mencionó que se deben relacionar los tres pilares de la sostenibilidad. Determinando tres áreas de intersección: la eficiencia, la equidad y la habitabilidad. En el caso particular de la habitabilidad, se han identificado tres agentes que la afectan: el crecimiento poblacional, el cambio climático y el impacto ambiental. Y por consiguiente, la habitabilidad se convierte en uno de los factores determinantes para la construcción de una adecuada sostenibilidad.

Es por estas razones que el concepto de habitabilidad es primordial a la hora de diseñar edificaciones que estén orientadas a la sostenibilidad. Para lograr esto es importante que las edificaciones posean un atributo importante, la resiliencia. Es decir, la capacidad de un sistema para resistir y adaptarse a las alteraciones sin que se afecte significativamente su estructura original. Por tanto, se hace necesario evaluar la habitabilidad en las edificaciones para identificar los impactos generados por los agentes que las afectan, y asimismo, determinar el grado de resiliencia que necesitan para ser sostenibles. “Los edificios en particular, y las obras de infraestructura en general, están bajo la presión de todo tipo de amenazas: eventos climáticos, terremotos, inundaciones, huracanes, deslizamientos, etc. Por lo que construir infraestructura resiliente es esencial para tener ciudades resilientes” (Solano, 2012: 9).

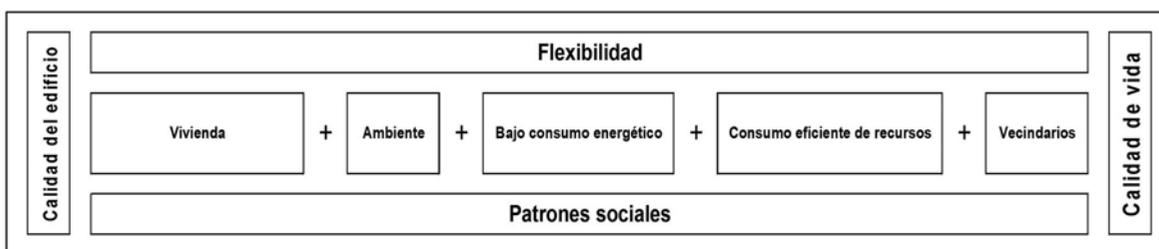
Un edificio resiliente debe responder al cambio climático por medio de tecnología resiliente y principios de sostenibilidad. Además, su diseño y

Habitabilidad



Gráfica 7. Modelo de comprensión de las variables de evaluación de la habitabilidad en las edificaciones en general. **Fuente:** elaboración propia.

Habitabilidad



Gráfica 8. Modelo de comprensión de las variables de evaluación de la habitabilidad en el caso particular de la vivienda. **Fuente:** elaboración propia.

construcción deben estar en equilibrio con el ambiente, minimizando impactos y posibilitando que sus materiales desarrollen actividades orientadas a la sostenibilidad. Actualmente se están desarrollando materiales con propiedades resilientes, como por ejemplo pavimentos y concretos, a través del cálculo del módulo de resiliencia (Quintana et al, 2007). Asimismo, desde las ingenierías se está desarrollado el concepto de resiliencia en diversos campos (Comfort et al, 2010: 17), lo que posibilita que hoy este concepto pueda ser aplicado al diseño de edificios.

Bogotá requiere del diseño de herramientas que le permitan generar estrategias que conduzcan a la producción de edificios sostenibles y al fortalecimiento de la ciudad en términos de resiliencia. Por tanto, se necesita una propuesta para la evaluación del factor de habitabilidad aplicado al diseño de edificaciones sostenibles.

A partir de las reflexiones anteriores, se propone un modelo teórico para la evaluación del factor de habitabilidad en las edificaciones sostenibles. Este modelo combina las distintas variables descritas anteriormente generando un sistema de comprensión del factor de habitabilidad, que permite evaluarlo identificando diferentes variables desde múltiples dimensiones.

La gráfica 7 expone el modelo de comprensión de la habitabilidad en las edificaciones en general. Está constituido por cuatro variables principales de color azul, que actúan como variables independientes. Estas son: la calidad del edificio, la flexibilidad, la calidad de vida y los patrones sociales. De estas cuatro variables se desprenden cinco variables dependientes, esta son: altos estándares tecnológicos, el ambiente, el bajo consumo energético, el consumo eficiente de recursos y los nuevos materiales.

La gráfica 8 muestra el modelo de comprensión de la habitabilidad en el caso particular de la vivienda. En este modelo se mantienen las cuatro variables independientes del modelo anterior. Lo que cambia son las variables dependientes. Las cinco variables dependientes en este caso son: vivienda, ambiente, bajo consumo energético, consumo eficiente de los recursos y vecindarios. Estos dos modelos permitieron el cruce de los distintos elementos requeridos para la evaluación de la habitabilidad como por ejemplo: la densificación, el cambio climático, el área de confort y bienestar de los habitantes. Asimismo, el cruce de estos elementos permite cuantificar el grado de habitabilidad de una edificación. Asimismo, esta cuantificación podría permitir la posibilidad de identificar el grado de resiliencia que presenta una edificación.

Para este modelo se requería del diseño de un sistema de gestión de información que permitiera evaluar la habitabilidad. Los alcances del proyecto de investigación no permitieron desarrollar un nuevo modelo de gestión, ya que esto requeriría de un tiempo considerable el cual no estaba proyectado. Además, un modelo general sería muy complejo de diseñar, ya que requeriría de un estudio exhaustivo de diferentes tipologías de edificaciones. Como por ejemplo, vivienda, edificaciones comerciales, edificaciones industriales, edificaciones institucionales.

Una buena opción de análisis del factor de la habitabilidad en las edificaciones es la vivienda. Por tal razón, el grupo de investigación valoró y validó del sistema de gestión de información de vivienda de interés social propuesto en la investigación *Diseño de prototipos flexibles de vivienda de interés social* (Cubillos, 2010). A partir de esta valoración, se ajustaron los parámetros iniciales del sistema de gestión de información para incluirle el factor de habitabilidad como variable de diseño. En este proceso se identificó que un elemento primordial en las edificaciones sostenibles es la habitabilidad y que a su vez, la flexibilidad se convierte en un componente clave a la hora de evaluar el factor de habitabilidad de cualquier edificación. En consecuencia, se

propuso un prototipo de software de evaluación y diseño que está orientado hacia la evaluación de la habitabilidad como factor de sostenibilidad.

El sistema está compuesto por tres módulos de trabajo interoperativos, estos son: módulo de análisis de la realidad, módulo de análisis sistémico y módulo de diseño de vivienda social. (Cubillos, 2010: 98-99). A partir de este modelo original se desarrollo un prototipo de software que contiene tres módulos, estos son: i) módulo de análisis de la realidad; ii) módulo de análisis sistémico; iii) módulo de diseño asistido. Los tres módulos están basados en el modelo de sistema de gestión de información, pero cruzan nuevas variables como por ejemplo, variables bioclimáticas, variables de factores de flexibilidad y variables sociales. Todos ellos aplicados a la habitabilidad en la vivienda social.

El software se encuentra en etapa de desarrollo y se espera una segunda etapa en donde se pueda graficar y cruzar toda esta información con un modelo gráfico, puede ser este en un sistema CAD ó BIM, para que permita al arquitecto tomar decisiones de diseño ayudado por el software y pueda representar estas decisiones en edificaciones a nivel arquitectónico y urbano (ver gráficas 10 a la 13).

En la gráfica 9 se ve un ejemplo de un formulario para cálculo de variables bioclimáticas, del módulo de análisis sistémico. Este formulario permite analizar el área de confort y bienestar requeridos para la evaluación de la habitabilidad en la vivienda. En la gráfica 10 se observa un ejemplo de un resultado del cálculo de variables bioclimáticas dentro del módulo de análisis sistémico.

Para el primer módulo de análisis sistémico se ingresan al sistema (SGIPVIS) los requerimientos climáticos, que son los datos promedio mensuales de temperatura y humedad relativa. Datos que dispone el usuario de fuentes primarias como el IDEAM y del IGAC, los cuales determinan el rango de confort se acuerdo a la zona climática de análisis. Para el siguiente módulo de análisis se ingresan los datos climáticos de temperatura y

Principal Zona Lista

Crear Zona

Nombre Zona *

Latitud *

Longitud *

Temperatura Inicial *

Temperatura Final *

Humedad Inicial *

Humedad Final *

Radio Cobertura *

Altura *

Indice Ocupación *

Crear

Gráfica 9. Formulario para cálculo de variables bioclimáticas. **Fuente:** (Pestana, 2013).

Principal Zona Lista Nuevo Zona

Mostrar Zona

Zona 1 creado

Nombre Zona SUBA

Latitud 4° 44' 27''

Longitud 74° 05' 02''

Temperatura Inicial 7

Temperatura Final 21.5

Humedad Inicial 71

Humedad Final 88

Radio Cobertura 1.500

Altura 2.577

Editar Eliminar

Gráfica 10. Resultado del cálculo de variables bioclimáticas dentro del módulo de análisis sistémico. **Fuente:** (Pestana, 2013).

Gráfica 11. Identificación y creación de tipos de vivienda en el módulo de análisis sistémico. **Fuente:** (Pestana, 2013).

Gráfica 12. Cruce de variables: número de personas, densidad, tiempo de transformación de la vivienda, área de la vivienda. **Fuente:** (Pestana, 2013).

No. Vivienda	Tiempo	Et1	Et2	Et3	Et4	Et5
1	12	35	41,093	47,777	50,378	65,015
2	52	35	38,05	47,242	59,427	77,19
3	23	35	42,673	54,224	56,12	66,453
4	46	35	35,202	36,825	45,461	48,821
5	13	35	35,547	36,805	42,991	51,453
6	37	35	40,213	50,718	61,388	65,863
7	20	35	35,614	40,933	43,171	55,696
8	45	35	37,15	43,346	49,487	59,262
9	5	35	36,054	38,402	44,316	45,314
10	19	35	36,037	43,449	45,721	58,788

Gráfica 13. Simulación de escenarios en el proceso de transformación y satisfacción de la necesidad de flexibilidad. **Fuente:** (Pestana, 2013).

humedad relativa, máximos y mínimos, con el fin de establecer los criterios de confort de manera general. Y por último, el módulo de diseño asistido genera los rangos específicos de confort a partir de los datos (temperatura y humedad relativa, medias, máximas y mínimas), para generar las estrategias de diseño de manera puntual al microclima de intervención.

El sistema tiene la capacidad de crear zonas de diferentes microclimas que se pueden presentar en la ciudad de Bogotá, para luego incorporarlos en una base de datos y así cruzarlos con otras variables como por ejemplo los factores de flexibilidad y los patrones sociales. Con estas variables se va construyendo los elementos necesarios para identificar el factor de habitabilidad. En la gráfica 11 se expone un ejemplo de formulario para la identificación y creación de tipos de vivienda en el módulo de análisis sistémico. El sistema permite a los usuarios crear el tipo de vivienda y parametrizar dicha información para que luego el sistema la evalúe. En la gráfica 12 se muestra un ejemplo de cómo el sistema realiza el cruce de variables para el número de personas, la densidad, el tiempo de transformación de la vivienda —calculada para un máximo de 50 años—, y el área de la vivienda. Estas variables permiten identificar tipos de viviendas que el usuario puede crear en el sistema. En la gráfica 13 se expone un ejemplo de la simulación de escenarios en el proceso de transformación y satisfacción de la necesidad de flexibilidad.

Conclusiones

Esta investigación dejó abierto el estudio del concepto de habitabilidad como variable de evaluación de las edificaciones sostenibles. Asimismo, se identificó que el papel que juega la habitabilidad en el proceso de diseño y construcción de una edificación es el de orientar las diferentes necesidades de los usuarios hacia la sostenibilidad, dando la posibilidad de que la edificación se encamine al concepto de resiliencia y responda a los diferentes agentes que afectan la habitabilidad hoy. Por otro lado, la validación del modelo de gestión de información que se propuso permitió el desarrollo de un prototipo de software que abre el campo al desarrollo de herramientas que puedan evaluar la habitabilidad y guíen la toma de decisiones en el proceso de diseño de cualquier edificación. Para terminar, se identificaron las diferentes necesidades de los usuarios de una edificación a través de la modelación y la simulación de variables; como en el caso del cálculo de variables bioclimáticas y de flexibilidad en la vivienda, a partir de los cuales, se logró la evaluación de las diferentes necesidades de la edificación y además, los impactos en el ambiente.

Referencias

- ◆ Alcaldía Mayor de Bogotá (2012). *Ficha de estadística básica de inversión distrital EBI-D*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- ◆ Beach, K. (2010). *Edmond Oklahoma Info for Citizens Planning to Survive Sustainability*. Retrieved 26 de marzo de 2013, from <http://axiomamuse.wordpress.com/2010/12/30/edmond-info-for-citizens-planning-to-survive-sustainability/>
- ◆ Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*. General Assembly, 31 December 1987. New York: United Nations.
- ◆ CAMACOL (2009). *Producción de vivienda de bajo costo*. Conferencia presentada en Bogotá: Mesa VIS Diego Echeverry Campos / Universidad de los Andes.
- ◆ Comfort, L. K.; Boin, A. & Demchak, C. C. (2010). *Designing resilience: Preparing for extreme events*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- ◆ Cubillos, R. (2006). Vivienda social y flexibilidad en Bogotá. ¿Por qué los habitantes transforman el hábitat de los conjuntos residenciales? *Bitácora Urbano Territorial*, N° 10: 124-135.
- ◆ Cubillos, R. (2010). Sistema de gestión de información de proyectos de vivienda social (SGIPVIS). *Revista de Arquitectura*, N° 12: 88-99.
- ◆ Cubillos, R. (2012). *La tecnología sostenible aplicada al proyecto arquitectónico*. Conferencia presentada en el 3er Encuentro Internacional Ekotectura 2012 - Retos de la sostenibilidad en la ciudad de siglo XXI, Bogotá, Colombia.
- ◆ Dirección Nacional de Planeación-DNP (2009). *Macroproyectos de interés social-estrategias ciudades amables-Plan nacional de desarrollo 2006-2010*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. Conferencia presentada en la Mesa VIS Diego Echeverry Campos / Universidad de los Andes.
- ◆ Edwards, B. (2001). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili.
- ◆ Escallón, C. & Villate, C. (2010a). *Actualización del código de construcciones de Bogotá*. Conferencia presentada en la Reunión del Concreto. Septiembre 22 al 24 de 2010. Cartagena, Colombia: Publicada por ASOCRETO.
- ◆ Escallón, C. & Villate, C. (2010b). *Convenio revisión código de construcción de Bogotá*. Conferencia presentada en la Mesa VIS Diego Echeverry Campos / Universidad de los Andes. Junio 6 de 2010. Bogotá, Colombia.
- ◆ Escallón, C. & Rodríguez, D. (2010c). Las preguntas por la calidad de la vivienda: ¿quién las hace?, ¿quién las responde? *Dearq*, N° 6: 6-19.
- ◆ Fiksel, J.; Eason, T. & Frederickson, H. (2012). *A Framework for Sustainability Indicators at EPA*. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- ◆ Keiner, M. (2005). *History, definition(s) and models of "Sustainable Development"*. Zürich: ETH, Eidgenössische Technische Hochschule.
- ◆ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial-MAVDT (2009). *El ABC del cambio climático en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial/Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM/ Koninkrijk der Nederlanden (Embajadora de los Países Bajos en Colombia).
- ◆ Naciones Unidas (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes – Un manual para líderes de los gobiernos locales*. Ginebra: Naciones Unidas.
- ◆ United Nations (1993). *Agenda 21*. Conference on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992: United Nations.
- ◆ Pestana, C. (2013). *Analizar y diseñar un sistema de gestión de información para proyectos de vivienda de interés social*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Católica de Colombia.
- ◆ Quintana, H. A. R. & Lizcano, F. R. (2007). Comportamiento resiliente de materiales granulares en pavimentos flexibles: estado del conocimiento. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 6, N° 11: 65-90.
- ◆ Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, N° 13: 30-33.
- ◆ Sikdar, S. (2003). Sustainable Development and Sustainability Metrics. *AIChE Journal*, vol. 49 N° 8: 1928-1932.