

LA HABITABILIDAD COMO VARIABLE DE DISEÑO DE EDIFICACIONES ORIENTADAS A LA SOSTENIBILIDAD

Rolando Arturo Cubillos González, Johanna Trujillo, Oscar Alfonso Cortés Cely, Claudia Milena Rodríguez Álvarez, Mayerly Rosa Villar Lozano

Universidad Católica de Colombia, Bogotá (Colombia)

Facultad de Diseño y Facultad de Ingeniería

Grupo de investigación "Sostenibilidad, Medio Ambiente y Tecnología (SOMET)"

Cubillos González, R. A., Trujillo, J., Cortés Cely, O. A., Rodríguez Álvarez, C. M. y Villar Lozano, M. R. (2014). La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad. *Revista de Arquitectura*, 16, 114-125. doi: 10.41718/RevArq.2014.16.1.13



<http://dx.doi.org/10.41718/RevArq.2014.16.1.13>

Rolando Arturo Cubillos González

Arquitecto, Universidad Nacional de Colombia. Máster en Hábitat, Universidad Nacional de Colombia. Líder grupo de investigación "Sostenibilidad, Medio Ambiente y Tecnología (SOMET)", Universidad Católica de Colombia. racubillos@ucatolica.edu.co

Johanna Trujillo

Ingeniera Industrial, Universidad Católica de Colombia. Máster en Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Javeriana. Líder semillero Integración de la Cadena de Abastecimiento (InCas), Universidad Católica de Colombia. jtrujillo@ucatolica.edu.co

Oscar Alfonso Cortés Cely

Arquitecto, Universidad La Gran Colombia. Máster en Diseño bioclimático (candidato), Universidad ISTHUM -COLIMA. Docente investigador, Universidad Católica de Colombia. oacortes@ucatolica.edu.co

Claudia Milena Rodríguez Álvarez

Ingeniera de sistemas, Universidad Nacional de Colombia. Máster en sistemas y computación, Universidad de los Andes. Docente investigador, Universidad Católica de Colombia. cmrodriguez@ucatolica.edu.co

Mayerly Rosa Villar Lozano

Arquitecta, Universidad Católica de Colombia. Magíster en Historia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente investigador, Universidad Católica de Colombia. mrvillar@ucatolica.edu.co

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el cambio climático afectan la habitabilidad de las edificaciones. Por ello, estas enfrentan una alta demanda de recursos y energía que comprometen la sostenibilidad de las mismas. Por tanto, se genera un mayor impacto ambiental y se compromete la salud del hombre. Efectivamente, los edificios, al ser construidos, se convierten en una fuente indirecta de contaminación debido al consumo de recursos que requieren para su buen funcionamiento (Ramírez, 2002, p. 30).

Es por esto que el concepto de habitabilidad adquiere crucial importancia. Podemos definir la habitabilidad como la capacidad que tiene un edificio para asegurar condiciones mínimas de confort y salubridad a sus habitantes. En este orden de ideas, un mal diseño ocasiona que no se responda a las condiciones óptimas para que se mantenga la vida humana.

Entonces, las edificaciones requieren dentro de sus diseños elementos que recuperen el equilibrio con el ambiente para que puedan ser sostenibles. Asimismo, este equilibrio requiere de una gran capacidad de adaptabilidad a cambios extremos generados por el cambio climático, que le permitan garantizar las condiciones mínimas para la vida, es decir, garantizar una capacidad de resiliencia en las edificaciones. Por tanto, la respuesta a esta problemática debe estar dirigida a diseñar edificaciones resilientes, que permitan una adecuada solución a este fenómeno.

Esta investigación tiene como objetivo general: "proponer criterios para la evaluación de la calidad de la habitabilidad de las edificaciones en Bogotá".

Para dicho propósito, se formularon como objetivos específicos los siguientes:

- Proponer un modelo de comprensión del concepto de habitabilidad para orientar el diseño de edificaciones hacia la sostenibilidad.
- Diseñar una metodología para el diseño de indicadores de calidad habitacional desde las dimensiones social y ambiental.
- Diseñar una aplicación informática que permita la evaluación y el diseño de calidad habitacional en las edificaciones.

Como resultado de la investigación, este artículo científico expone los siguientes resultados:

RESUMEN

Hoy, el crecimiento poblacional y el cambio climático afectan la óptima habitabilidad de las edificaciones. Por tanto, un mal diseño ocasiona que la habitabilidad no responda a los requerimientos de los usuarios y a las condiciones climáticas actuales. A partir del análisis del crecimiento poblacional y de los cambios climáticos que se están presentando en Bogotá, ¿es posible evaluar la calidad de la habitabilidad de las edificaciones y, por consiguiente, generar diseños óptimos que permitan que su uso sea sostenible en el tiempo y se adapten de manera adecuada a los cambios climáticos actuales? A fin de lograr esto, el análisis de la habitabilidad debe estar dirigido a diseñar edificaciones resilientes. Para ello, se propuso un Sistema de Gestión de la Información, que pretende generar modelos que estimen en el tiempo la adaptabilidad y la sostenibilidad de una edificación. La aproximación al concepto de habitabilidad plantea la interrelación de variables desde las visiones sociocultural y ambiental, entendida esta última como un sistema. Finalmente, se concluye que el prototipo de *software* en este momento se convierte en un laboratorio de exploración para la generación de otro *software* que pueda conducir a una patente de utilidad y aplicarlo en el ejercicio profesional.

PALABRAS CLAVE: sostenibilidad, flexibilidad, adaptabilidad, bioclimática, simulación, desarrollo de *software*.

HABITABILITY AS DESIGN VARIABLE OF BUILDINGS HEADING TOWARDS SUSTAINABILITY

ABSTRACT

Today, population growth and climate change affect the optimum habitability of buildings. Therefore, a bad design causes that habitability fails to respond the requirements of users and the current climate conditions. On the basis of the analysis of population growth and the climate changes taking place in Bogota, is it possible to evaluate the habitability quality of buildings and, consequently, create optimum designs that allow a sustainable use in time and adequate adaptation to current climate changes? In order to do so, the habitability analysis should be aimed at designing resilient buildings. To that end, the Information Management System created, intends to generate models that estimate a building's adaptability time and sustainability. The approximation of the habitability concept posits the interrelation of variables from the sociocultural and environmental views; the latter understood as a system. Finally, the article concludes that the software prototype at this time turns out to be an exploration laboratory for the generation of another software that could lead to a utility patent and be used professionally.

KEY WORDS: Sustainability, flexibility, adaptability, ecological design, simulation, software development.

Recibido: noviembre 29/2013

Evaluado: octubre 6/2014

Aceptado: noviembre 27/2014

- En primer lugar, el modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS) (Cubillos-González, 2013), en donde se explica el concepto de habitabilidad como una variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad.
- En segundo lugar, se explica el método integral de diseño ambiental (MIDA) (Cortés y Villar, 2013), el cual establece rangos de confort según variables socioambientales para lograr una mejor habitabilidad en las edificaciones.
- Finalmente, se expone el proceso de desarrollo de la aplicación informática denominada Sistema de Gestión de Información de Proyectos de Vivienda Social (SGIPVIS), la cual permite la evaluación y el diseño de calidad habitacional en las edificaciones. Por último, se discute la evaluación y validación del módulo de simulación contenida en el *software* y su implementación a futuro.

METODOLOGÍA

El marco metodológico de esta investigación se construyó desde la perspectiva del pensamiento sostenible (Naciones Unidas, 1993). En primer lugar, se propuso la conceptualización del término habitabilidad a través de árboles de problemas para identificar las variables que determinan el concepto. Con esta herramienta, se organizó la información recolectada y se creó un modelo de relaciones causales que explican el proceso de habitabilidad en las edificaciones.

Luego, se utilizó la herramienta de identificación de patrones, con la cual se sistematizaron las variables analizadas en el árbol de problemas, obteniendo una descripción detallada de las características del factor de habitabilidad. Se encontró que una buena opción de análisis del factor de la habitabilidad en las edificaciones es la vivienda. Por tal razón, se valoró y validó un módulo de simulación 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-González, 2010).

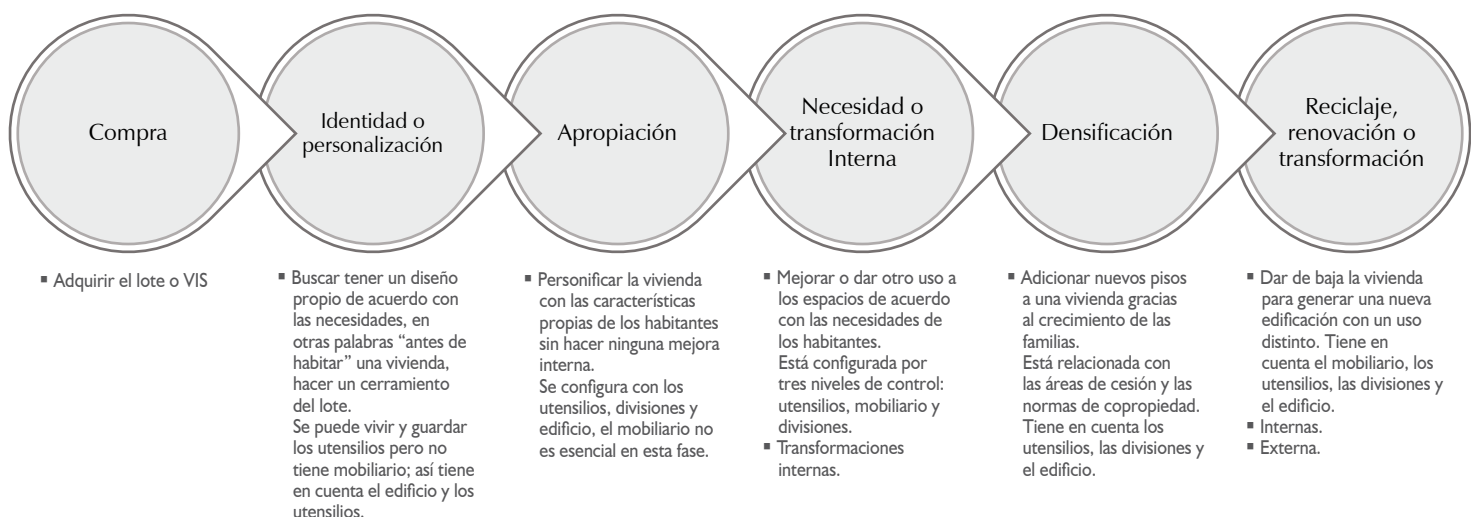
Este módulo de simulación se propuso para que formara parte de otro módulo de simulación para el diseño de un prototipo de *software*. Sin embargo, se realizó una validación técnica que requiere de un ajuste para que el módulo del *software* sea operativo en un 100%. Con la simulación se pudieron realizar diversos experimentos en un computador y validar la hipótesis a partir del estudio de diferentes escenarios. Para elegir una edificación las variables de decisión tuvieron los siguientes criterios:

- a. El factor edificación presenta problemáticas para soportar las transformaciones realizadas por los usuarios a fin de lograr una óptima habitabilidad, ahí el usuario busca la *flexibilidad* o *adaptabilidad* como factor de decisión, para lo cual la edificación informal "se adapta en el tiempo", y la formal no cumple estos requerimientos (Camacol, 2009; Cubillos-González, 2006).
- b. El *costo*, para lo cual la edificación *formal* dobla el costo de producción (DNP, 2009, p. 10).
- c. La *calidad*, definida como la propone Escallón (2010a), debe ser diversa, flexible, suficiente, que construya ciudad y articulada.
- d. La *sostenibilidad* de las edificaciones en el tiempo (Cubillos-González, 2010, p. 93).
- e. Tamaño del lote (Cubillos-González, 2010, p. 93); *individualización*.

Según estos criterios, el hábitat se construye progresivamente así: áreas, habitaciones, espacios del edificio, manzanas y vecindarios; sin embargo, el alcance de esta investigación no tiene en cuenta la construcción de vecindarios, debido a que el control por parte del usuario de una vivienda llega tan solo a los espacios comunales y posiblemente hasta manzanas.

Por ejemplo, el proceso de habitabilidad de una vivienda formal o informal se da en las siguientes fases: *compra*, *identidad*, *apropiación*, *necesidad*, *densificación* o *transformación*, y *renovación* o *reciclaje*; en las primeras investigaciones del tema, el proceso se delimitó desde la identidad hasta la renovación del desarrollo de una edificación (Cubillos, 2006). En la figura 1 se explica detalladamente el proceso de habitabilidad actualizado.

Figura 1. Fases de una edificación y sus niveles de control
Fuente: adaptado por los autores de Cubillos (2006).



Fase del diseño Clases de hábitat	Identidad			Apropiación			Necesidad			Densificación			Renovación			
Áreas	U			U			U	M		U			U	M		
Habitaciones					D			M	D			D		M	D	
Espacios comunales			E		D	E			D			D	E		D	E
Manzanas			E			E						E			E	
Vecindarios (N/A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabla 1. Interacción de elementos del diseño

Fuente: los autores, con información de Cubillos (2006).

Variable	Descripción	PARÁMETRO
Evento	Vivienda, hábitat o familia	$i=1,2...n$
Inicio del proceso de transformación	Momento inicial de la compra en tiempo cero	0^1
Final del proceso de transformación	De acuerdo con el estudio de la universidad de los andes y la universidad javeriana, el ciclo de vida es de 12 años, para lo cual se identifica con una exponencial media 12	$E(12)$ años
Tiempo promedio por etapa de transformación	Final de proceso de transformación / 7 etapas	
Etapa 0, (E_0) compra, área del lote (al)	Es un parámetro que indica el área del lote comprada, que es fijo debido a que 49 es el área del lote ideal flexible en el cual podría una persona vivir y llegar a adaptarse, para llegar a 96 v/h	15, 49
Etapa 1 (E_1), identidad	Es el valor inicial con el que crece un lote	
Etapa 2 (E_2), apropiación		2
Etapa 3 (E_3), necesidad		$E_3=E_1+E_2$
Etapa 4 (E_4), densificación		$E_4 = \frac{E_1 + E_3}{2}$
Etapa 5 (E_5), renovación	Es el área final máxima en la cual una vivienda podría llegar a crecer	$E(147)m^2$
Medidas de desempeño		
Índice de construcción (ic)		$IC = \frac{E_5}{AL}$
Área promedio (ap)	Promedio área del lote y 4 etapas iniciales (identidad, apropiación, necesidad, densificación)	$\frac{\sum_{i=1}^5 E_i}{n}$
Área promedio por etapa (ape)	Promedio de las etapas 1 a la 5	

Tabla 2. Variables de estudio

Fuente: los autores, con información de Cubillos (2006).

1 Iniciar una simulación en cero se da en simulaciones terminales, para el caso de vivienda no es terminal debido a que estocásticamente una vivienda no tiene un proceso secuencial, como se estima en esta investigación.

Con lo anterior, las decisiones de diseño de una edificación comprenden el manejo de utensilios (U), el mobiliario (M), las divisiones (D) y los edificios (E) (Cubillos-González, 2006), en la tabla 1 se explican detalladamente las interacciones y las fases del diseño.

Para la construcción del modelo de simulación de la investigación se utilizó la hoja de MS Excel, con el fin de estimar el crecimiento del área del lote de vivienda formal o informal; es importante aclarar que el modelo se basó únicamente en eventos donde las medidas de desempeño son extraídas del conjunto de sucesos del estado del arte.

Para el caso, cada corrida de simulación en el experimento equivale a viviendas y los eventos son las fases de diseño. Se utiliza la distribución t-student para los resultados. Las siguientes son las variables que se tuvieron en cuenta para el estudio (tabla 2).

Finalmente, se elaboró un prototipo de *software* utilizando la metodología ágil XP, la cual permitió el desarrollo de un *software* en un tiempo muy corto. Este trabajo se desarrolló con un equipo multidisciplinario de ingenieros de sistemas, arquitectos y estudiantes de la carrera de ingeniería de sistemas. Con la utilización del método ágil se enfatizó la comunicación entre los integrantes del equipo. Además, la investigación se desarrolló de manera racional y permitió identificar e incorporar las variables de habitabilidad en el *software*.

RESULTADOS

A continuación se realizará una síntesis de la explicación de los tres resultados obtenidos: el modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS), del método integral de diseño ambiental (MIDA) y, finalmente, se explicará el proceso de desarrollo del sistema de gestión de información de proyectos de vivienda social (SGIPVIS).

PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO DE HABITABILIDAD ORIENTADO A LA SOSTENIBILIDAD (MHOS)

La sostenibilidad es la relación entre el hombre y la naturaleza, en donde los patrones económicos y sociales deben estar en equilibrio para que no ejerzan presión al ambiente y no amenacen la existencia del hombre (Fiksel, Eason y Frederickson, 2012, p. 4). Las dimensiones que permiten dicho equilibrio son tres: la económica, la social y la ambiental. A su vez, las áreas de interrelación que se presentan en la sostenibilidad son tres: la eficiencia, la equidad y la habitabilidad.

La habitabilidad se puede definir como la capacidad que tiene un edificio para asegurar

condiciones mínimas de confort y salubridad a sus habitantes. Esta surge de la relación entre la dimensión social con la dimensión ambiental en un hábitat construido. En este contexto, el uso eficiente de los recursos naturales se relaciona con la dimensión espacial para responder a las necesidades humanas. De esta interdependencia surge la habitabilidad como factor determinante en la construcción de una adecuada sostenibilidad.

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 Departamento Nacional de Planeación (DNP) ha realizado estudios cuyos 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 incremento de la demanda de edificaciones. La reducción espacial de las edificaciones y del espacio público, causado por la demanda del 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), lo que ocasiona un alto consumo de recursos y energía para que la producción de edificaciones dentro de la ciudad sea viable.
- **El cambio climático:** hoy el planeta se enfrenta a un comportamiento del clima arbitrario, este tipo de conducta afecta directamente la habitabilidad de las edificaciones, porque se requiere 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 el caso de Bogotá, este fenómeno ha aumentado el riesgo en diferentes zonas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2012, pp. 3-4), sumado al impacto ambiental causado por la intervención del hombre. Esto, combinado con el proceso de cambio climático, representa un potencial riesgo de desastre (MAVDT, 2009, p. 14). Si no se controlan 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.
- **El impacto ambiental:** uno de los sectores de más alta contaminación es la construcción. Efectivamente, se ha calculado que la industria de la construcción consume entre un 47 a un 50% de los recursos mundiales (Edwards, 2001). Para materializar la

idea del diseño de edificaciones sostenibles se requiere de una tecnología que las haga viables. Entonces, es necesario el estudio de diferentes tecnologías orientadas a la sostenibilidad, a fin de avanzar en las respuestas que reduzcan los efectos del impacto ambiental.

De acuerdo con los tres agentes anteriores, 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.
- Necesidad de accesibilidad a nivel arquitectónico y urbano.
- Necesidad de que las edificaciones estén relacionadas con una ciudad que gestione el consumo y el ahorro de energía.
- Necesidad de eficiencia en sus procesos de producción y gestión.

Es por esta razón que se debe incluir el concepto de resiliencia ampliamente debatido en la conferencia Río + 20 de las Naciones Unidas. La resiliencia se define como la capacidad que tiene un sistema para resistir diversas alteraciones sin que se afecte significativamente su estructura original. En el caso de las edificaciones, lo que se busca es que estas sean resilientes a los tres agentes que afectan la habitabilidad: el crecimiento demográfico, el cambio climático y el impacto ambiental.

Además, la mayoría de las edificaciones que se construyen en la ciudad no responde adecuadamente a la necesidad de habitabilidad de los usuarios. La mala utilización de materiales y la aplicación de métodos de construcción de alto impacto ambiental, causan el síndrome del edificio enfermo, definición propuesta por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En este sentido, el Building Research Establishment² (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.

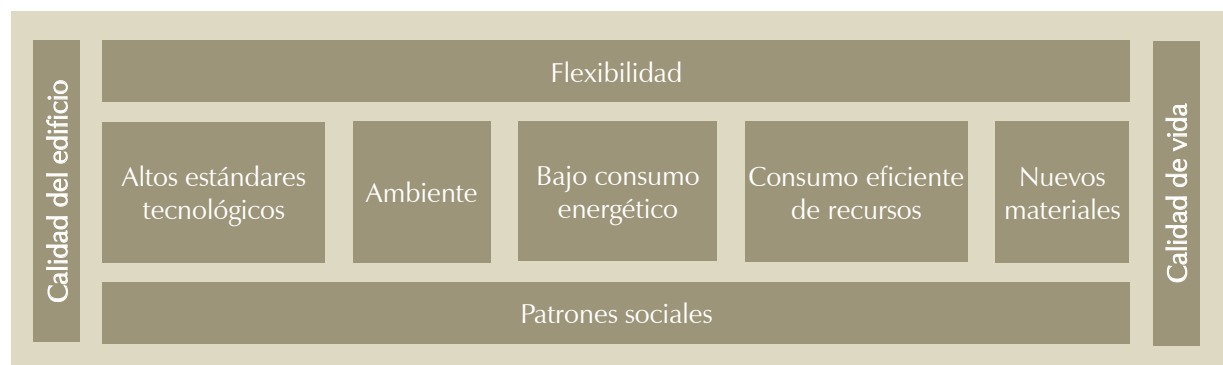
Este ejemplo puede ser replicado en Colombia, ya que hoy se hace necesario evaluar y diseñar herramientas que permitan la identificación de la variable de habitabilidad en las edificaciones para que puedan tener las condiciones adecuadas y respondan a la sostenibilidad. Esta evaluación podría realizarse, por ejemplo, a través del diseño de sistemas de gestión de información, los cuales permitirían cruzar datos y presentar un diagnóstico cercano a la realidad, el cual permita la toma de decisiones para el diseño y la construcción de las edificaciones orientadas a la sostenibilidad.

En síntesis, el concepto de habitabilidad es primordial a la hora de diseñar edificaciones que estén orientadas a la sostenibilidad; para lograrlo, es importante que las edificaciones sean resilientes. Por tanto, se hace necesario evaluar la habitabilidad en las edificaciones para poder identificar un edificio resiliente que pueda responder al cambio climático por medio de principios de sostenibilidad.

Al respecto, en la actualidad se están desarrollando materiales con propiedades resilientes, como por ejemplo, pavimentos y concretos, por medio del cálculo del módulo de resiliencia, que permiten responder de manera óptima a los requerimientos de sostenibilidad (Quintana y Lizcano, 2007). Los impactos generados por los agentes que las afectan, y asimismo, determinar el grado de resiliencia que necesitan para ser sostenibles.

A partir de las ideas anteriores, se propuso un modelo teórico para la evaluación del factor de habitabilidad en las edificaciones sostenibles, denominado modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS). 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.

Figura 2. Modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS)
Fuente: Cubillos-González y Rodríguez-Álvarez (2013).



² <http://www.bre.co.uk/>

La figura 2 muestra cuatro variables principales de color azul, que actúan como variables independientes: calidad del edificio, flexibilidad, calidad de vida y los patrones sociales. De estas cuatro variables se desprenden cinco variables dependientes: altos estándares tecnológicos, ambiente, bajo consumo energético, consumo eficiente de recursos y nuevos materiales.

PROPUESTA DE UN MÉTODO INTEGRAL DE DISEÑO AMBIENTA (MIDA)

El método integral de diseño ambiental (MIDA) está orientado de manera sistemática a establecer rangos de confort como resultado de la interacción de las variables socioambientales (figuras 2 y 3). Para lograr esto, este modelo vincula variables climáticas y ambientales en torno al concepto de habitabilidad y analiza el confort en la edificación.

Para determinar los rangos de confort se tienen en cuenta las variables climáticas que se interrelacionan con las condiciones más favorables de bienestar dentro de los procesos adaptativos que realizan los usuarios al interior de la vivienda. Por tanto, la variable ambiental cualifica el espacio interior cuando se concibe el diseño a partir de los parámetros climáticos del lugar y se establecen criterios como por ejemplo: la orientación, la asolación, la ventilación y la selección de materiales. También, se determinan las estrategias por implementar de acuerdo con la temperatura interior que debe tener la vivienda.

Asimismo, se evalúa cuál debe ser la humedad adecuada, la ventilación y los materiales que contribuyen a mitigar el calentamiento global. Es de vital importancia que cada parámetro

climático y social se evalúe con datos estadísticos y confrontarlos con la realidad a través de trabajo de campo, así como determinar las tipologías habitacionales desde su déficit cualitativo. En la figura 3 se presenta gráficamente la interrelación de variables.

Las variables sociales analizan el componente habitacional y sus principales servicios públicos, que son los que garantizan las condiciones mínimas de salubridad y confort. En cuanto a las variables climáticas, se analizan las estrategias de climatización pasiva, a fin de lograr el objetivo de encontrar la sinergia entre los elementos sociales y ambientales.

En términos de eficiencia se analizaron las mínimas condiciones de adaptabilidad y ahorro energético que se generan a partir de los materiales y el uso de sistemas pasivos de climatización, en conjunto con las condiciones ambientales del lugar de implantación (Serra, 2010, p. 13).

Por tanto, los procesos de adaptabilidad se logran desde la flexibilidad del diseño en concordancia con los parámetros socioambientales y su acondicionamiento al contexto físico, social y cultural. En síntesis, a partir de la aplicación de estas estrategias, el diseño de una edificación orientada a la sostenibilidad apunta a generar un hábitat más humano y flexible en términos de diseño y eficiencia energética.

DESARROLLO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDA SOCIAL (SGIPVIS)

A partir de los modelos anteriores, y después de realizar el análisis de los requerimientos del sistema SGIPVIS, se procedió a realizar el diseño

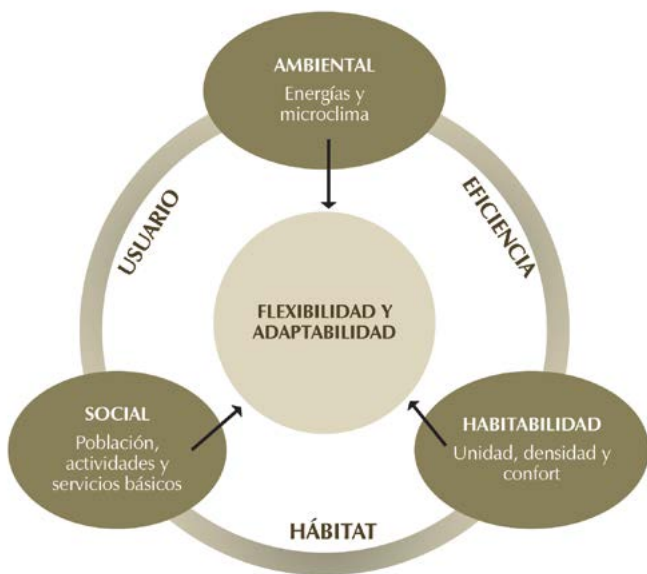


Figura 3. Método integral de diseño ambiental (MIDA)
Fuente: Cortés y Villar (2013).

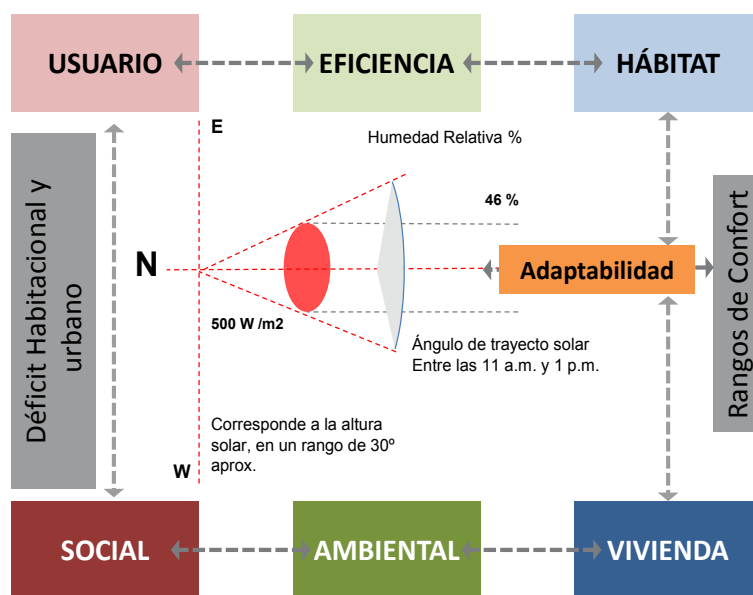


Figura 4. Diagrama de interrelación de variables
Fuente: Cortés y Villar (2013).

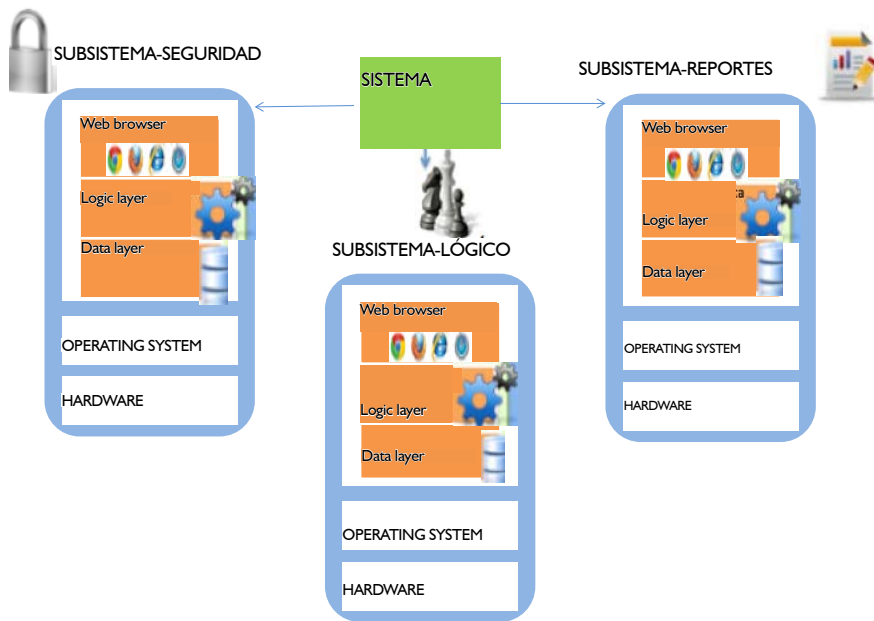


Figura 5. Arquitectura del sistema SGIPVIS
Fuente: Pestana (2013).

del sistema de gestión de información. La arquitectura del sistema se dividió en tres subsistemas (figura 5). El primero tenía como objetivo controlar la seguridad del sistema en el acceso y la restricción de sus contenidos. El segundo tenía como objetivo guardar los requerimientos funcionales del sistema de gestión de información. Por último, el subsistema de reportes tenía como objetivo exportar en diferentes formatos la información relevante y necesaria para los usuarios del prototipo de *software*.

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBA DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN

La implementación del SGIPVIS tuvo dos fases. En la primera, se desarrolló un sistema para el diseño de los requerimientos de usuario, con la implementación de una página web. La segunda fase desarrolló el sistema SGIPVIS, donde se incluyeron los tres subsistemas mencionados. Para la implementación de los dos sistemas se utilizó el lenguaje Groovy con el *framework* Grails para la implementación web.

Uno de los elementos más importantes dentro del SGIPVIS es la funcionalidad de simulación de proyectos arquitectónicos en el área de la vivienda. Para ello se realizaron pruebas a fin de comprobar la funcionalidad del módulo de simulación.

Para comprobar la funcionalidad del simulador de flexibilidad, se realizó la prueba para un proyecto de vivienda social de 20 viviendas, evaluado con un tiempo mínimo de simulación de 10 años y un tiempo máximo de 25 años, para un área inicial de 60 metros cuadrados.

Una vez realizada la prueba, se observó que los resultados de los datos podrían acercarse a

la realidad en cuanto al crecimiento que tiene la vivienda social en Bogotá con respecto a su área inicial, comprobando la funcionalidad del simulador. Sin embargo, fue necesario evaluar por aparte y más a fondo el diseño del proceso de simulación estocástica trazada para el módulo, razón por la cual se realizó una evaluación del módulo de simulación. Esta se llevó a cabo en una hoja de MS Excel en donde se implementó el diseño de simulación estocástica.

Evaluación y validación del módulo de simulación del sistema de gestión de información

Para la validación del módulo de simulación se realizaron cuatro experimentos, para un horizonte de planeación de 10 hectáreas; los parámetros de cada etapa se muestran en la tabla 3:

El modelo pretendía ser estocástico, como se explica a continuación (figura 6), donde una etapa previa en un estado i , tiene una probabilidad asociada al estado del arte de la normatividad para pasar a la etapa siguiente, $i+1$ (Liu *et al.*, 2013; Rigaux, Carlin, Nguyen-thé y Albert, 2013; Solibakke, 2012). A partir de esto, se identificó en la validación que el modelo en MS Excel se encontraba mal parametrizado, por lo cual se recomendó generar un modelo de simulación de datos recolectados en campo que represente la realidad de la toma de decisiones de los usuarios de las edificaciones y se use la simulación para representar la realidad característica principal de esta herramienta.

DISCUSIÓN

RECOMENDACIONES PARA EL MODELO DE SIMULACIÓN PROPUESTO

A partir de la evaluación realizada al módulo de simulación se identificó que, en su elaboración, se desconocieron los estados como *procesos estocásticos*, llamados también *sucesiones de eventos*, definidos como el resultado de un conjunto de procesos que en el tiempo presentan etapas dependientes del azar o que tienen asociadas una probabilidad de ocurrencia.

El caso más simple de los procesos estocásticos son las Cadenas de Markov, que son una sucesión de ensayos u observaciones en la cual cada ensayo tiene el mismo número finito de resultados del resultado del ensayo inmediatamente precedente y no de cualquier resultado previo (Janczura y Weron, 2012; Li, Singh y Mishra, 2013).

Por consiguiente, para el ajuste de la matriz de transición se recomienda una etapa de validación del modelo. Es así como se debe registrar la probabilidad de pasar de un estado a otro, en donde es pertinente implementar en el modelo de simulación las columnas que indican el estado

Experimento de simulación	Densidad	Tamaño del lote por etapa (0 ³)						Normativa	Tipo
		0	1	2	3	4	5		
0	96 v/h								Informal
1. Ciudadela El Recreo, Bogotá – Metro vivienda	240 v/h	25	37,5	50	62,5	75	75		Formal
2. VIS ⁴ en agrupación según POT	200 v/h	15	15	24,64	40,71	50,35	60	Decreto 619 de 2000	Formal
3. VIS en lote individual	108 v/h	35	28	47,25	66,5	85,75	105	Decreto 2060 de 2004	Formal
4. Lote individual flexible	96 v/h	49	36,75	73,5	110,25	128,63	147	Propuesta	Formal

3 Se intenta simular los procesos de las etapas con una distribución uniforme entre parámetros (etapa 0 tamaño del lote en metros, etapa 5 tamaño flexible o normativo en metros), pero la metodología no es replicable debido a que nunca se indica qué tipo de distribución sería, y de dónde se toman los parámetros. Lo correcto sería aplicar una distribución empírica y no uniforme basada en Cadenas de Markov. No se entienden los cálculos en la hoja de simulación de Excel, no se describe la forma de cálculo de esas distribuciones en el conjunto de documentos revisados de la investigación. Por tanto, en la lectura de los documentos de investigación se observó que en algunos momentos del proceso se intentó describir el cálculo a partir de la segunda fila de distribuciones uniformes del modelo.

4 Vivienda de Interés social.

Tabla 3. Horizonte de planeación de 10 hectáreas

Fuente: los autores, con información de Cubillos (2012b).

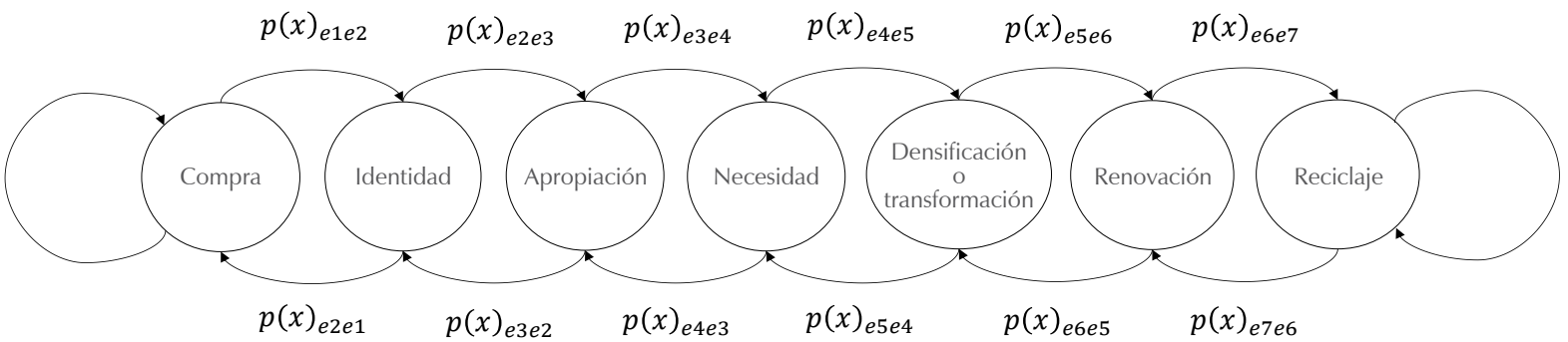


Figura 6. Representaciones de los nodos de transición para el proceso estocástico de vivienda

Fuente: los autores con base en Kahrobaee y Asgarpoor (2013), Lai Chung (1983).

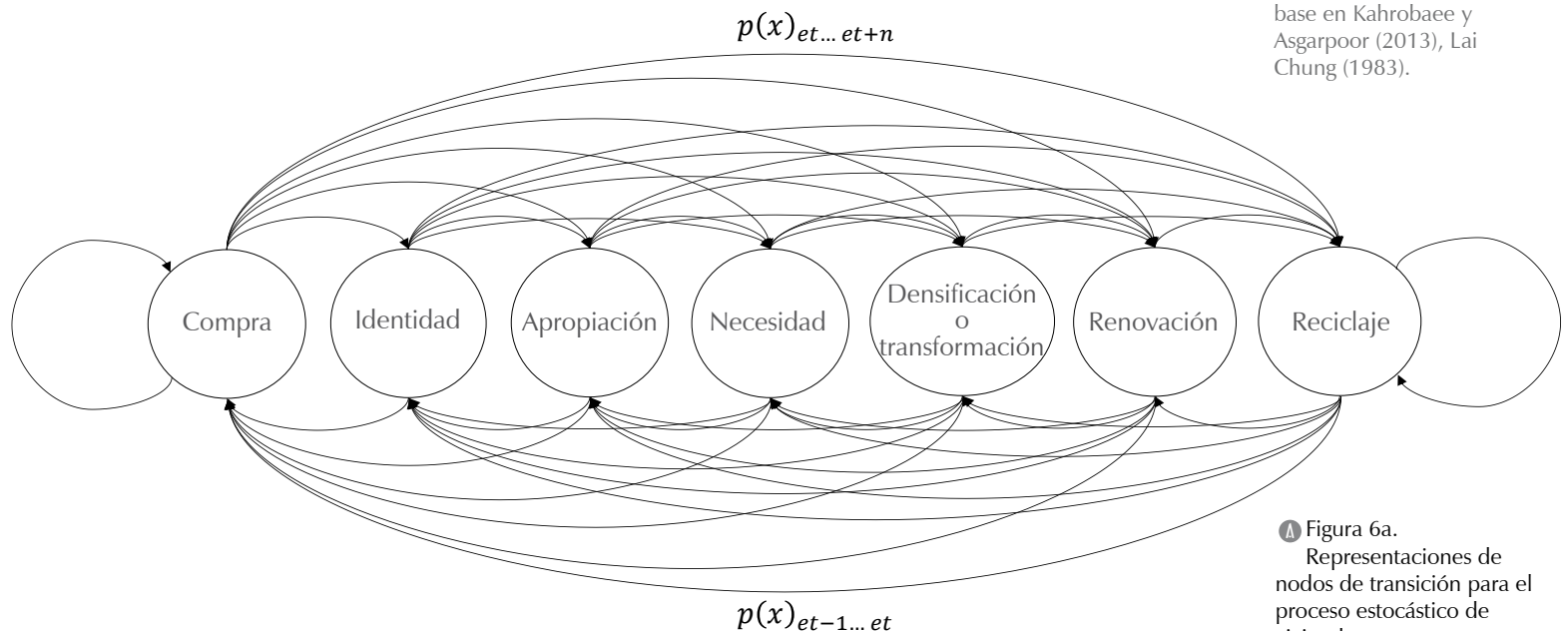


Figura 6a. Representaciones de nodos de transición para el proceso estocástico de vivienda

Fuente: los autores.

Estado inicial-final	Compra	Identidad	Apropiación	Necesidad	Densificación o transformación	Renovación	Reciclaje
Compra	NA	0,3	0,05	0,3	0,2	0,1	0,05
Identidad	0,8	NA					
Apropiación			NA				
Necesidad	0,7			NA			
Densificación o transformación					NA		
Renovación						NA	
Reciclaje							NA

Tabla 4. Matriz de transición para procesos estocásticos de vivienda

Fuente: los autores.

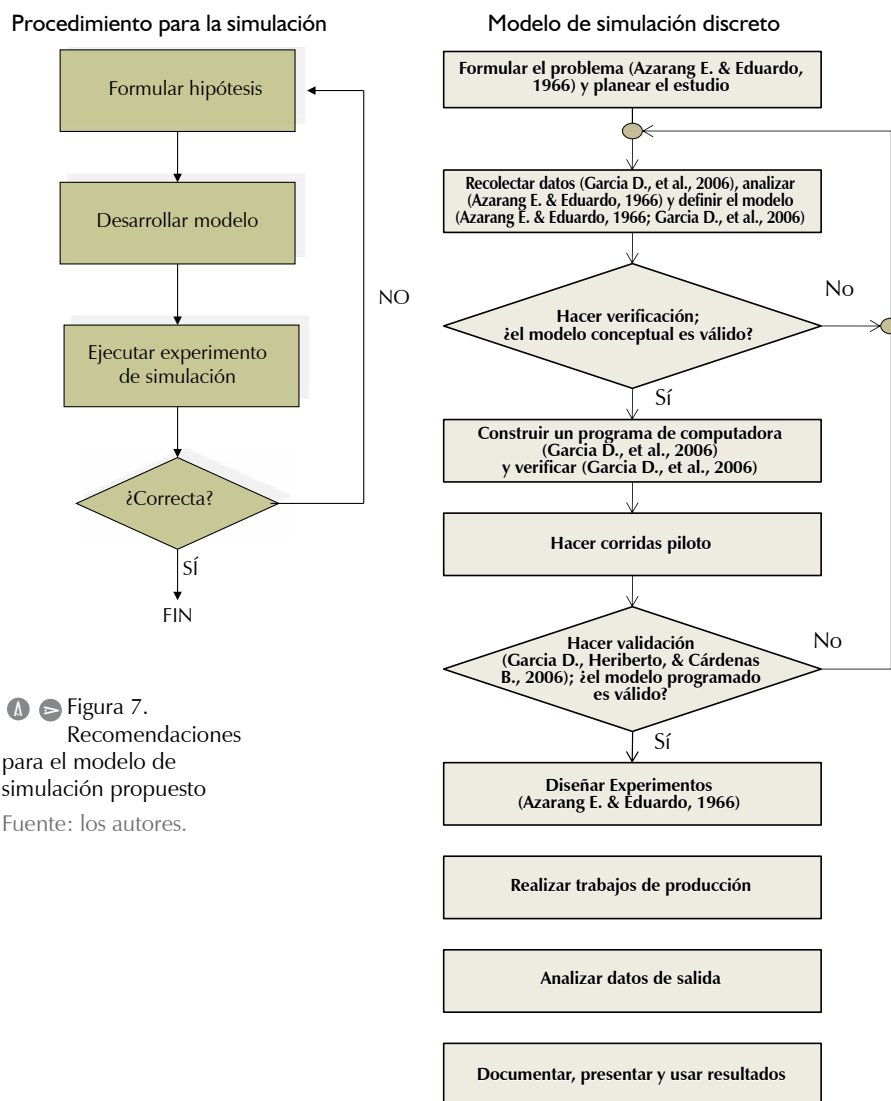


Figura 7. Recomendaciones para el modelo de simulación propuesto

Fuente: los autores.

construcción de estos estados, se hace de manera lineal estimando secuencialmente el modelo desde compra hasta reciclaje.

Si se quiere ver el esquema en forma de red, entonces se construye como se muestra en la figura 6, para facilitar a los investigadores en arquitectura su entendimiento; cada nodo es un estado y cada flecha indica la probabilidad de cambio de estado. La Cadena de Markov hace que el modelo exprese la realidad y el conjunto de todas las interacciones o decisiones que un usuario pueda tener en un instante de tiempo; así, una persona en un estado i , podría pasar a cualquier otro estado $i+n$ (Kahrobaee y Asgarpour, 2013; Mateescu y Serwe, 2013; Solibakke, 2012).

RECOMENDACIONES PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

El planteamiento del proceso de simulación propuesto por Flores (2010), no sigue la metodología de un estudio de Simulación Discreto clásico (Sang, et al., 2011); por tanto, la fase de recolección de datos en el sector real y su validación con este sector como herramienta para estimación de las medidas de desempeño del proceso de las edificaciones se debe hacer como se muestra en la parte derecha de la figura 7.

Para esta investigación aún están por desarrollar muchos elementos, su sustento teórico son los decretos 619 de 2000 y 2060 de 2004, para lo cual las entidades interesadas en implementar el modelo podrían ser la Secretaría de Hábitat, y el mercado objetivo del software son las constructoras de vivienda de interés social (VIS).

El modelo puede ser de mucha utilidad para diferentes agentes interesados en el tema. Por ejemplo, un usuario podría elegir la constructora con la que pretende comprar su vivienda de acuerdo con sus necesidades de flexibilidad. Sin embargo, la investigación puede llegar a la aplicación y formulación de políticas públicas desde la perspectiva de gestión urbana.

inicial y las filas del estado final (Cameron y Pettitt, 2012; Dotto et al., 2011). Por tanto, la matriz propuesta debe estar balanceada de forma horizontal (por filas), y su sumatoria debe ser el 100%; por columnas no hay restricción.

La tabla 4 muestra que la probabilidad de que una familia pase de un estado de compra a un estado de necesidad es del 70%, y del estado de necesidad a compra es del 30%; y así sucesivamente. Se recomienda ser rigurosos porque en el proceso de investigación no se muestra la

MEDIDAS DE DESEMPEÑO DEL MODELO

Con el fin de generar medidas de desempeño reales (figuras 8 y 9), se debe hacer una recolección de datos en campo con un muestreo por estratos socioeconómicos debido a que el modelo está basado en la flexibilidad de la vivienda formal e informal, eso indica que no es únicamente para un estrato socioeconómico determinado.

Luego de estratificar la muestra por tipo de vivienda, se aplica un muestreo aleatorio simple

(MAS) por cada nivel de estudio, con el fin de cumplir los supuestos de extender los resultados a la población y los de aleatoriedad, independencia y uniformidad básicos de un modelo de simulación clásico. La identificación de parámetros se debería hacer con la metodología propuesta en la figura 8.

Luego de identificar los parámetros se procede nuevamente a formular la simulación en una estructura multivariante (Yang et al., 2011) si se va a formular en MS Excel.

Figura 8. Etapas de recolección de datos y variables para el muestreo estratificado y aleatorio simple

Fuente: los autores.

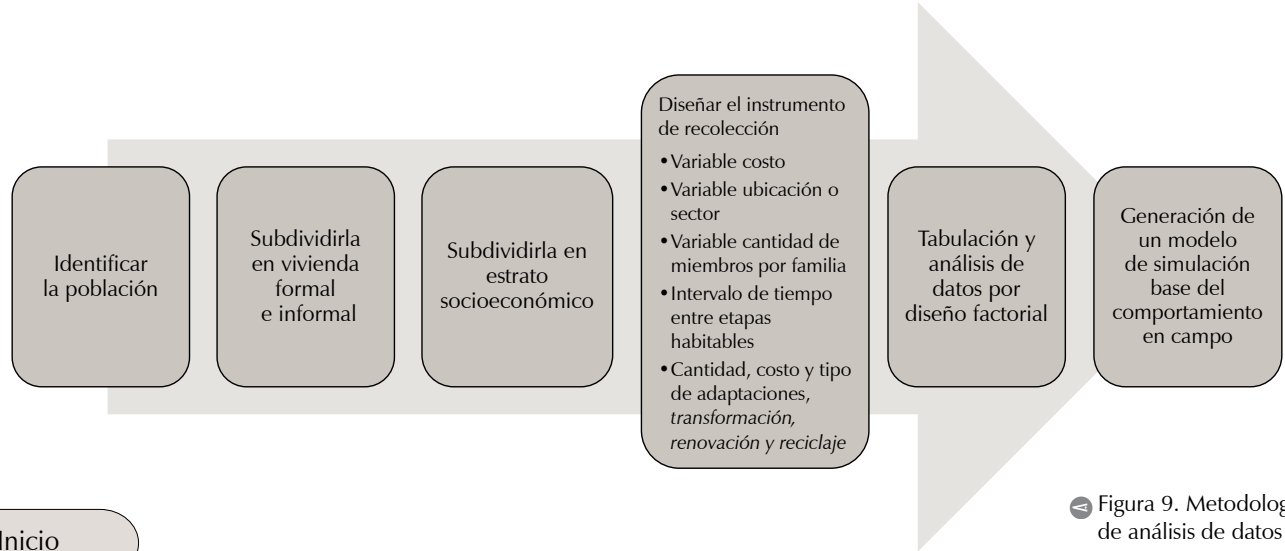
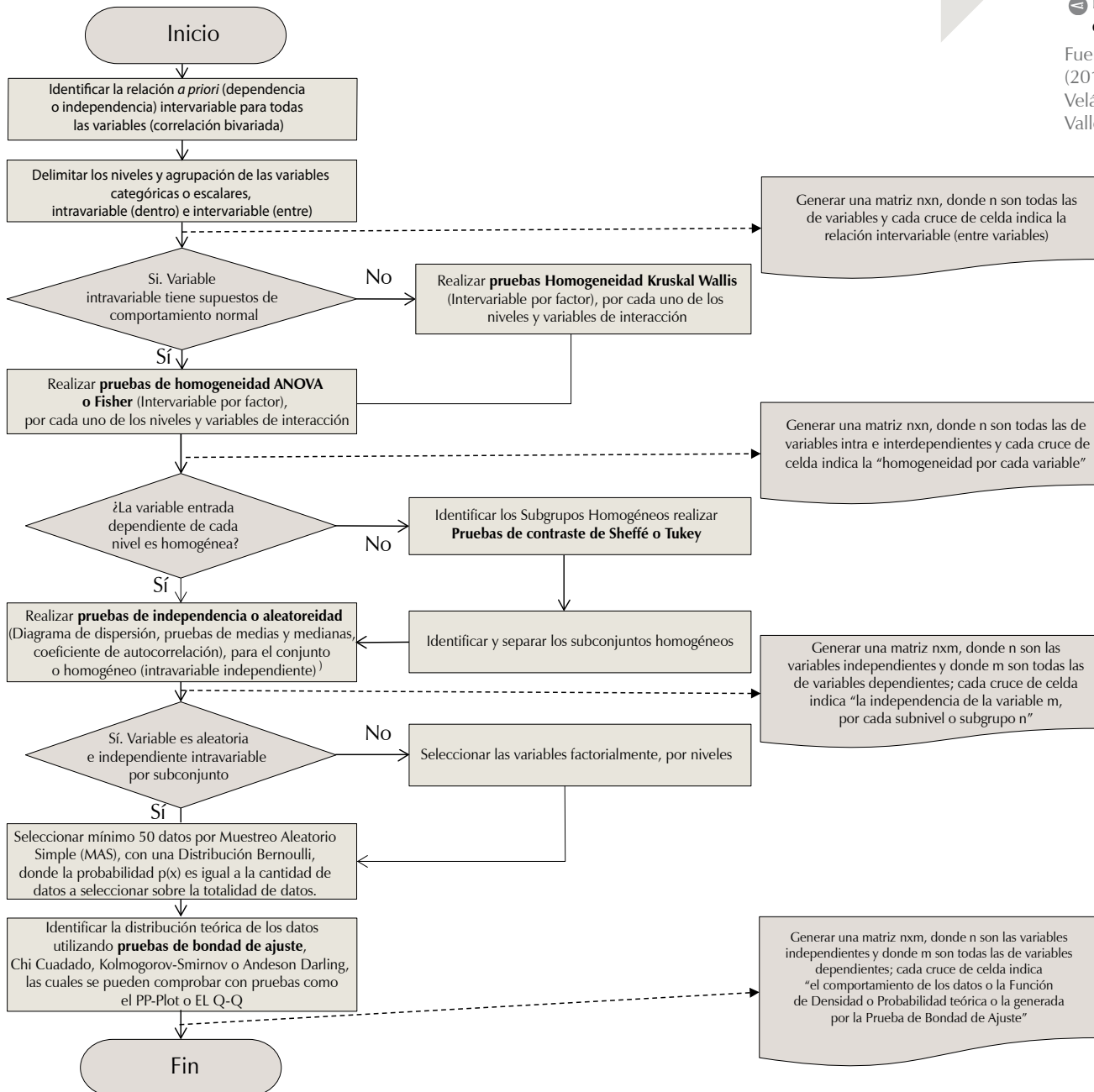


Figura 9. Metodología de análisis de datos

Fuente: Trujillo y Cubillos (2014); Trujillo, González y Velásquez (2013); Trujillo, Vallejo y Becerra (2010).



La siguiente es la fórmula del muestreo estratificado (Sheaffer, Mendenhal y Ott, 2007):

$$n = \frac{\sum \frac{N_i P_i Q_i}{W_i}}{N^2 \frac{e^2}{4} + \sum N_i P_i Q_i}$$

Donde,

$$W_i = \frac{N_i}{N}$$

N_i = número de observaciones por nivel

N = muestra

P_i = elementos más favorables

Q_i = elementos más desfavorables

e = error considerado

CONCLUSIONES

Esta investigación deja abierta la posibilidad de que el concepto de habitabilidad sea una variable de evaluación de las edificaciones sostenibles. Además, la habitabilidad orienta las diferentes necesidades de los usuarios hacia la sostenibilidad, dando la posibilidad de que la edificación se encamine a tener propiedades resilientes que le permitan responder a los diferentes agentes que afectan la habitabilidad hoy.

Por otro lado, la validación del modelo de simulación para el prototipo de software que se propuso permite abrir una puerta de investigación en el tema de la simulación discreta, área de trabajo que se ha trabajado muy poco en arquitectura y que ofrece un sinnúmero de oportunidades y de aplicaciones que hay que diseñar y perfeccionar.

El prototipo de *software* en este momento se convierte en un laboratorio de exploración para la generación de otro software que pueden conducir a una patente de utilidad y con ellos aplicarlo en el ejercicio profesional. Sería muy útil que los diseñadores y constructores de edificaciones puedan identificar 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.

Por otro lado, se concluye que la aproximación a partir del concepto de habitabilidad plantea la interrelación de variables desde las visiones sociocultural y ambiental, entendida esta última como un sistema. En el enfoque socioambiental se establece que los problemas de la habitabilidad en la vivienda y, en general, en cualquier tipo de edificación, son complejos.

Para terminar, en cuanto a la evaluación y validación del componente de simulación contenido en el prototipo de *software* se concluyó lo siguiente:

Un modelo de simulación pretende demostrar el comportamiento de la realidad, el proceso clásico consiste en simular procesos discretos a partir de la recolección de datos reales. El modelo puede quedar completo si se da este paso, debido a que el usuario final podría ayudar a descubrir las probabilidades reales, y no las teóricas en el estado del arte, el cual en la mayoría de los casos no describe la realidad.

La identificación de las probabilidades se debe hacer con la metodología propuesta luego de recolectar los datos en campo.

La simulación se podría utilizar para la gestión urbana, debido a que serviría para comprobar si la normatividad cumple el estándar y las necesidades de los usuarios, no sin antes hacer el muestreo, la recolección de datos y su análisis de parámetros.

Finalmente, se recomienda elaborar una evaluación y validación del modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS) y del método integral de diseño ambiental (MIDA), que permitan verificar la pertinencia en campo de las hipótesis planteadas y valorar su aplicabilidad.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de investigación quiere agradecer el trabajo de los siguientes alumnos en el diseño del prototipo de *software* que ha permitido explorar, evaluar y validar los modelos propuestos por los diferentes investigadores: Camilo Pestana, Diego Andrés Apolinar Santos, Gerson Steevens Gaitán García, Daniel Alejandro Mora Salcedo, Giovanni Andrés Ninco Hernández, Cristian de Jesús Schotborgh López, Diego Hernando Torres Sarmiento y Sergio Vargas Poveda.

REFERENCIAS

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2012). *Ficha de Estadística Básica de Inversión Distrital EBI-D*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Camacol (2009). Producción de vivienda de bajo costo. Conferencia presentada en Bogotá: Mesa VIS Diego Echeverry Campos / Universidad de los Andes.
- Cameron, E. y Pettitt, A. N. (2012). Approximate Bayesian Computation for astronomical model analysis: a case study in galaxy demographics and morphological transformation at high redshift. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425 (1), 44-65. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21371.x.
- Cortés, O. y Villar, M. (2013). Método Integral de Diseño Ambiental (MIDA). *Revista Nodo*, 8 (16), 15-21.
- Cubillos-González, R. (2006). Vivienda social y flexibilidad en Bogotá. ¿Por qué los habitantes transforman el hábitat de los conjuntos residenciales? *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 10, 124-135.
- Cubillos-González, R. (2010). Sistema de gestión de información de proyectos de vivienda social (SGIPVIS). *Revista de Arquitectura*, 12, 88-99.
- Cubillos-González, R. (2012a). Estudio y gestión de estándares mínimos de flexibilidad en la vivienda social en Bogotá. *Revista de arquitectura*, 14, 65-75.
- Cubillos-González, R. (2012b). La tecnología sostenible aplicada al proyecto arquitectónico. Conferencia presentada en el Tercer Encuentro Internacional Ekotectura 2012 - Retos de la sostenibilidad en la ciudad de siglo XXI, Bogotá, Colombia. Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño. Bogotá, Colombia.
- Cubillos-González, R. y Rodríguez-Álvarez, C. (2013). Evaluación del factor de habitabilidad en las edificaciones sostenibles. *Revista Nodo*, 8 (15), 47-64.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2009). Macroproyectos de interés social - Estrategia ciudades amables - Plan nacional de desarrollo 2006-2010. Conferencia presentada en la Mesa VIS Diego Echeverry Campos / Universidad de los Andes. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.
- Dotto, C. B. S., Kleidorfer, M., Deletic, A., Rauch, W., McCarthy, D. T. y Fletcher, T. D. (2011). Performance and sensitivity analysis of stormwater models using a Bayesian approach and long-term high resolution data. *Environmental Modelling & Software*, 26 (10), 1225-1239. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.03.013.
- Edwards, B. (2001). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Escallón, C. y Rodríguez, D. (2010a). Las preguntas por la calidad de la vivienda: ¿quién las hace?, ¿quién las responde? *Dearq*, 6, 6-19.
- Escallón, C. y Villate, C. (2010b). Actualización del código de construcciones de Bogotá. Conferencia presentada en la Reunión del Concreto, septiembre 22 al 24 de 2010. Cartagena, Colombia.
- Escallón, C. y Villate, C. (2010c). 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.
- Fiksel, J., Eason, T. y Frederickson, H. (2012). A Framework for Sustainability Indicators at EPA. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.
- Janczura, J. y Weron, R. (2012). Efficient estimation of Markov regime-switching models: An application to electricity spot prices. *ASTA Advances in Statistical Analysis*, 96 (3), 385-407. doi: 10.1007/s10182-011-0181-2.
- Kahrobaee, S. y Asgarpoor, S. (2013). A hybrid analytical-simulation approach for maintenance optimization of deteriorating equipment: Case study of wind turbines. *Electric Power Systems Research*, 104 (0), 80-86. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2013.06.012.
- Lai Chung, K. (1983). *Elementary Probability Theory with Stochastic Processes*. Madrid: Reverté.
- Li, C., Singh, V. P. y Mishra, A. K. (2013). A bivariate mixed distribution with a heavy-tailed component and its application to single-site daily rainfall simulation. *Water Resources Research*, 49 (2), 767-789. doi: 10.1002/wrcr.20063
- Liu, F., Li, X., Ding, Y., Zhao, H., Liu, X., Ma, Y. y Tang, B. (2013). A social network-based trust-aware propagation model for P2P systems. *Knowledge-Based Systems*, 41 (0), 8-15. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.knosys.2012.12.005
- Mateescu, R. y Serwe, W. (2013). Model checking and performance evaluation with CADP illustrated on shared-memory mutual exclusion protocols. *Science of Computer Programming*, 78 (7), 843-861. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.scico.2012.01.003.
- 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 (Embajada de los Países Bajos en Colombia).
- Naciones Unidas (1993). Agenda 21. Conferencia on Environment & Development Rio de Janeiro, Brazil, 3 to 14 June 1992: United Nations.
- Naciones Unidas (2012). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes – Un manual para líderes de los gobiernos locales*. Ginebra: Naciones Unidas.
- 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. y Lizcano, F. R. (2007). Comportamiento resiliente de materiales granulados en pavimentos flexibles: estado del conocimiento. *Ingenierías*, 6 (11).
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y sociedad*, 13, 30-33.
- Rigaux Ancelet, C. S., Carlin, F., Nguyen-thé, C. y Albert, I. (2013). Inferring an Augmented Bayesian Network to Confront a Complex Quantitative Microbial Risk Assessment Model with Durability Studies: Application to Bacillus Cereus on a Courgette Purée Production Chain. *Risk Analysis*, 33(5), 877-892. doi: 10.1111/j.1539-6924.2012.01888.x
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D. y Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54 (3-4), 938-943. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019
- Serra, R. (2010). *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Sheaffer, R., Mendenhal, W. y Ott, L. (2007). *Elementos del muestreo*. Madrid: International Tomson Editores.
- Solibakke, P. B. (2012). Scientific stochastic volatility models for the Salmon forward market: forecasting (un-)conditional moments. *Aquaculture Economics & Management*, 16 (3), 222-249. doi: 10.1080/13657305.2012.704618.
- Trujillo, J. y Cubillos-, R. (2014). La simulación como herramienta del diseño y evaluación arquitectónica, paradigmas resueltos desde la ingeniería. *Studiositas*, 26.
- Trujillo, J., González, E. y Velásquez, A. (2013). Hybrid model for making Tactical and Operational decisions in land transportation for the case of a perishable Supply Chain. Documento presentado en el 2nd International Symposium (1963-2013 - 50th Anniversary) - 24th National Conference on Operational Research; Hellenic Operational Research Society (HELORS), Atenas, Grecia.
- Trujillo, J., Vallejo, J. y Becerra, M. (2010). Methodology Call-Centers's Simulation - Study case. *Studiositas*, 5 (3), 117-138.
- Yang, H., Li, Y., Lu, L. y Qi, R. (2011). First order multivariate Markov chain model for generating annual weather data for Hong Kong. *Energy and Buildings*, 43 (9), 2371-2377. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.035