

GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA (AMG). ESCENARIOS DESEABLES A PARTIR DE LA MODELACIÓN SUSTENTABLE DE LA INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

Sustainable water management in social interest housing in the metropolitan area of guadalajara (AMG). Desirable scenarios from the sustainable modelation of the water infrastructure

ALEJANDRA VILLAGRANA GUTIÉRREZ

Universidad de Guadalajara

Recibido: 13 de septiembre de 2016. Aceptado: 26 de septiembre de 2017.

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo explicar la estructuración y construcción de un modelo de vivienda sustentable a partir de la gestión del agua dentro del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG). El modelo surge de un estudio sobre el comportamiento de la infraestructura hídrica en la vivienda de interés social en el AMG, en primer lugar bajo una perspectiva convencional y posteriormente desde un escenario sustentable en el manejo y gestión de los recursos hídricos. Con este modelo se pudo generar un comparativo en torno a un sistema convencional y uno que incorpora tecnologías de gestión sustentable del agua, como lo son los sistemas de captación de agua pluvial. El modelado fue desarrollado bajo el *software* STELLA, un *software* especializado en “sistemas dinámicos” que permitió la modelación de la infraestructura hídrica de la vivienda para poder visualizar el comportamiento de la misma, así como las relaciones que se presentan a partir de la incorporación de tecnologías en relación con la gestión sustentable de recursos hídricos. Además, el modelo permitió generar una cuantificación a grandes rasgos de los ingresos y las salidas de agua de la vivienda analizada.

Palabras clave: gestión sustentable del agua, vivienda de interés social, modelación sustentable.

ABSTRACT

This article aims to explain the structuring and construction of a sustainable housing model based on water management within the Metropolitan Area of Guadalajara (AMG). The model emerged from a study on the behavior of water infrastructure in social housing in the AMG, first under a conventional perspective and later from a sustainable scenario in the management of water resources. With this model, it was possible to generate a comparative environment to a conventional system and one that incorporates technologies of sustainable water management, such as rainwater harvesting systems. The modeling was developed under the *software* STELLA, a *software* specialized in “dynamic systems” that allowed the modeling of the water infrastructure of the house to be able to visualize the behavior of the same as the relations that are presented from the incorporation of technologies in relation to the sustainable management of water resources. The model also allowed generating a rough quantifica-

tion of the inputs and the outputs of water in the housing analyzed.

Key words: Sustainable water management, social housing, sustainable modeling.

VIVIENDA EN MÉXICO

En la actualidad el crecimiento excesivo de los centros urbanos ha tenido consecuencias inminentes dentro del contexto natural. En 1950, una tercera parte de la población mundial vivía en ciudades y, 50 años después, esta cifra aumentó a la mitad y continuará aumentando a dos tercios, a 6 mil millones de personas, en 2050. En las ciudades reside ahora la mitad de la humanidad (ONU-HABITAT, 2016). Dentro de la escala nacional, en el último siglo México cambió de ser un país rural a uno donde la mayor parte de la población vive en localidades urbanas (mayores a 2,500 habitantes) (SEMARNAT, 2013).

Este modelo de crecimiento urbano reciente en México ha fomentado el desarrollo de viviendas que se encuentran lejos de servicios como escuelas, hospitales y centros de abasto. Es decir, la producción de vivienda nueva ha estado basada en un modelo de crecimiento urbano extensivo. Los desarrollos habitacionales se ubicaron en zonas alejadas de los centros de trabajo y de servicios, sin una densidad habitacional adecuada que permitiera costear servicios, vías de comunicación y alternativas de transporte eficientes. Esto ha generado comunidades dispersas, un debilitamiento del tejido social y un uso poco eficiente de los recursos, entre ellos el del agua. Cerca de 60 millones de personas viven en localidades que se abastecen en alguno de los 101 acuíferos sobreexplotados del país (Plan Nacional de Desarrollo, 2015).

Este crecimiento poblacional ha generado, a la vez, una extensa demanda de vivienda en el país. El diagnóstico del Plan Nacional de Vivienda, 2013-2018, expone que durante el periodo que va de 2006 a 2012 se entregaron 6.81 millones de financiamientos (créditos y subsidios), a través de los cuales se han beneficiado 4.9 millones de vi-

viendas, de las cuales 2.91 millones, que representan 59%, han sido adquisición de vivienda nueva (Conavi, 2012.) Se prevé que entre 2014 y 2018 se demandarán 2.88 millones de viviendas por crecimiento demográfico y durante los próximos años se atenderá una demanda anual estimada de alrededor de 400 mil viviendas nuevas. Estas viviendas demandan y demandarán agua dentro de sus servicios, lo que representa un problema en la gestión de recursos hídricos de las ciudades mexicanas; así pues, un reto desde la perspectiva urbana será el poder brindar alternativas eficientes para su abastecimiento.

La vivienda en México, como un eje de estudio, entrelaza objetivos secundarios entre los que sobresale el transitar hacia un modelo de desarrollo urbano sustentable. En los últimos años se han impulsado acciones de sustentabilidad en el sector vivienda, enfocadas a la integración de eco-tecnologías. Estas acciones han derivado en la instrumentación de programas como Hipoteca Verde (HV) del Infonavit, apoyados con subsidios federales del programa Ésta es tu casa, de la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi).

El programa Vida Integral Infonavit, implementado a partir de 2011, incorpora –además de las ya conocidas eco-tecnologías— criterios en materia de ubicación y entorno urbano (servicios educativos y de salud); asimismo, se limita el acceso al crédito para viviendas ubicadas en zonas con altos niveles de vivienda deshabitada. Por medio de este programa se fomenta que la vivienda incluya atributos de sustentabilidad ambiental, social y económica. Para 2012 se reforzaron los criterios de evaluación en tres ejes (vivienda-entorno-comunidad), aplicando incentivos a los desarrollos que cumplen con las características de ubicación, superficie habitable, disponibilidad completa de servicios públicos, empleo, densidad habitacional (50 viviendas por hectárea), acceso a internet, tecnologías eficientes para ahorrar energía y agua, mecanismos de organización comunitaria para pago de mantenimiento y promotor vecinal.

Asimismo, dentro de la política de vivienda sustentable se pueden encontrar los Desarrollos

Urbanos Integrales Sustentables (DUIS), que ofrecen una visión más integral de las necesidades de vivienda, aunque su alcance se limita a los ocho proyectos que se han certificado a la fecha y los que están en proceso de certificación; en todo caso, habrá que ver sus resultados con el tiempo.

Además, los DUIS no son una herramienta de planeación urbana del gobierno y no funcionan como sustituto de esta responsabilidad. Los DUIS son un mecanismo para alinear un proyecto de la iniciativa privada a los planes ya existentes.

Dentro de las acciones de financiamiento, garantías y soluciones de vivienda para implementarse en 2014, desde el aspecto de sustentabilidad, sobresalen los Desarrollos Certificados y la NAMA de vivienda. La NAMA son medidas de mitigación apropiadas nacionalmente a través de un conjunto de instrumentos que certifican que la vivienda nueva en México será construida bajo lineamientos que optimicen el uso de energía y agua, mediante el diseño arquitectónico, así como el uso de tecnologías cuyo costo beneficio asegure la prosperidad del habitante, reduciendo el impacto en sistemas estatales.

Con este panorama en torno a la vivienda sustentable en México se puede decir que, hoy en día, no existe un modelo integral que considere dentro de su estructura la interacción de los sistemas urbanos y sistemas de vivienda para el desarrollo de modelos sustentables de urbanización. Actualmente, se trabaja de forma aislada cada uno de los sistemas, por lo que es necesario la incorporación de nuevas metodologías que permitan su integración, mediante estrategias adecuadas para cada escala urbana.

AGUA Y VIVIENDA

Actualmente el modelo de consumo y uso irracional de recursos por los centros urbanos ha promovido un modelo de consumo lineal, lo que tiene como consecuencia la alteración de los ciclos naturales (Pauleit y Friedrich, 2000). Así es como la continua expansión urbana, consecuencia de la demanda de vivienda actual, ha promovido este

modelo de ciudad en las ciudades mexicanas. La Conapo estima que en 2050 México tendrá 150.8 millones de habitantes, lo que representará una mayor presión sobre los recursos hídricos.

Actualmente, según el Diagnóstico del Plan Nacional Hídrico, 2013-2018, México presenta diversas problemáticas en relación con la gestión de sus recursos hídricos, entre las que sobresalen las siguientes: sobreexplotación, sobre-concesión de pozos para obtención de agua potable, contaminación de las fuentes de abastecimiento, problemas de infraestructura, carencia de cultura del agua, poca o nula transferencia tecnológica, así como problemas jurídicos-administrativos, además de que sobresale la influencia que está teniendo actualmente el cambio climático en la gestión y disponibilidad del agua.

La demanda de recursos por parte de la vivienda también provocó y provoca un incremento en la contaminación y, por lo tanto, la destrucción de los territorios e impacto directo en las cuencas hidrológicas, a lo que se agrega la falta de normativa que regule la expansión urbana que garantice el abastecimiento de recursos, como el agua dentro de los desarrollos de vivienda.

La vivienda actual de las localidades urbanas genera altos volúmenes de consumo y contaminación del agua. Es por ello que, mediante la vivienda, es que se podrían promover diversas estrategias para la minimización del consumo y la contaminación de los recursos hídricos, de la mano de la aplicación de tecnologías sustentables, buscando promover así la implementación de una infraestructura más sustentable dentro de la ciudad. Ante esto se enfatiza la importancia que toma la vivienda en la gestión sustentable de recursos naturales, entre ellos el agua, dentro de la planeación de las ciudades.

En los últimos años el Área Metropolitana de Guadalajara, como la mayoría de las localidades urbanas en México, ha presentado un incremento poblacional considerable, lo que genera un incremento también en la demanda de vivienda y, por lo tanto, de recursos. Ante esto, la mancha urbana comenzó a crecer y a extenderse a municipios vecinos, tal es el caso de municipios como El Salto

y Tlajomulco de Zúñiga. Fue entonces cuando las inmobiliarias vieron la oportunidad de crear un negocio en torno a esta situación. A su vez, la demanda de vivienda requirió más servicios básicos e infraestructura, así como recursos y transporte. Muchas de las veces la urbanización fue poco planeada y descontrolada, lo que generaba problemas como inundaciones, hundimientos, deslizamientos, agrietamientos, en especial en tiempos de lluvias.

En el AMG, según los informes de actividades del SIAPA (2015), considerando una población de 4'013,923 habitantes, el consumo de agua per cápita por habitante en 2014 fue de 202.99 lt/día; cifra que, en comparación con los estándares internacionales de eficiencia, queda muy por encima del consumo urbano de agua optimizado promedio de 134.67 lt/hab/día (Rueda, 2006). En ese mismo año se contabilizó un volumen total consumido de 297'403,065.81 m³/año.

Además, se agrava la situación si se considera que en las subcuencas donde se ubica el AMG ya no hay disponibilidad de agua subterránea ni superficial, por lo que se deben buscar fuentes alternas y se debe realizar un esfuerzo por disminuir el consumo per cápita. En el AMG el porcentaje de agua residual tratada con respecto al agua residual captada en 2013 fue de 14.92%, un porcentaje muy bajo, lo que resulta aún más preocupante por ser la zona metropolitana de mayor población en el estado.

LÍNEAS TEÓRICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE VIVIENDA SUSTENTABLE

En torno a la estructuración del modelo de vivienda planteado, se analizaron algunas líneas teóricas que se enfocan en la conceptualización de las redes y sistemas de la ciudad a partir de la gestión sustentable del agua. Primeramente, la conceptualización del Ciclo Urbano del Agua (CUA) demuestra la conectividad e independencia de los recursos de agua urbanos y las actividades humanas, así como la necesidad de vincularlos en el manejo integrado. Ante esto, se ha notado que

el ciclo hidrológico comienza a hacerse más complejo en áreas urbanas por algunas influencias e intervenciones, el resultado del ciclo hidrológico urbano que después fue llamado ciclo urbano del agua (Marsalek *et al.*, 2008).

El concepto de CUA demuestra la conectividad e independencia de los recursos de agua urbanos y las actividades humanas, la necesidad de vincularlos en el manejo integrado. Para conocer esta necesidad, el concepto del manejo total del CUA fue introducido en Australia, elaborado por Lawrence en 1999. Las categorías del manejo de agua básico incluyen los siguientes:

- Re-usar y tratar las agua de desecho, con base en la disposición del potencial de contaminantes, o en la sustitución de otras fuentes para el abastecimiento de agua para usos subpotables.
- Integrar el agua de lluvia, el agua subterránea, el manejo del abastecimiento de agua y el de tratamiento de aguas.
- Conservación del agua (manejo de la demanda).

Dentro de las conceptualizaciones analizadas se encontró que la ciudad también puede ser concebida como un conjunto de redes. Tal como lo define León Krier, la ciudad puede ser conceptualizada en tres tipos de redes: red pública, red privada y red económica, cada una constituida de diferentes elementos que, en conjunto, conforman una sola y extensa red.

La red pública constituye aquellos edificios o espacios públicos que tienen algún significado simbólico e institucional; en pocas palabras es la arquitectura que conforman los monumentos, edificios o espacios simbólicos. Hablando en cuestiones de uso de suelo a esta red la constituyen el equipamiento, las áreas verdes y los espacios abiertos. La red privada está constituida por aquellos edificios de uso privado; entre ellos, encontramos la vivienda y el comercio.

Por último, la red económica la constituyen todas aquellas edificaciones privadas (red privada), sumando las calles y vialidades, edificios sin incluir en los monumentos o edificios simbólicos,

así como la infraestructura de la ciudad (Krier, 2011). Las vialidades en todas sus categorías: de acceso controlado, principales, colectoras, sub-colectoras, locales, tranquilizadas, peatonales y ciclovías.

En lo particular, para este estudio únicamente se analizará parte de lo que Krier conceptualiza como la red económica, enfocando el estudio en la vivienda y en la red de infraestructura en relación con el agua: sistema de abastecimiento, alcantarillado y saneamiento. Si se analiza de manera más detallada esta red de infraestructura mantiene una relación directa con el ciclo hidrológico natural y con el ciclo urbano del agua.

Continuando con esta conceptualización, en su libro *El orden oculto: de cómo la adaptación crea complejidad*, John H. Holland hace referencia a los sistemas complejos como sistemas adaptables que se amoldan a su medio ambiente circundante y que por medio de su experiencia guían los cambios en la estructura del organismo, de manera que, con el paso del tiempo, hacen mejor uso del medio ambiente para alcanzar sus propios fines. Esta conceptualización permite generar una analogía con la ciudad, visualizándola como un sistema complejo en el que intervienen distintos elementos para su funcionamiento.

En estos sistemas existen tres elementos que forman su estructura: los nodos (que tienen la función de procesadores o agentes), los conectores (que determinan las posibles interacciones) y los recursos que circulan y se intercambian a través de dichos elementos. Holland (2011) expone que los sistemas complejos adaptables (SCA) cuentan con propiedades básicas que los definen como tal: agregación, no-linealidad, flujos y diversidad. Estas propiedades hacen referencia al comportamiento de las redes de abastecimiento de recursos en la ciudad.

Al referirse a la “agregación” se especifica que cada sistema está integrado a otro sistema, lo que genera jerarquías, y se hace referencia al número de interacciones que existen en el mismo. Se habla de “no-linealidad” debido a que vincula el producto y no la suma de dos variables distintas. Las interacciones no lineales casi siempre provo-

can que el comportamiento de un agregado sea más complicado de lo que habíamos previsto por medio de sumatorias. En este concepto intervienen las variables de adaptación y complejidad que permiten la evolución del sistema.

En relación a los “flujos”, estos permanecen inmutables a través del tiempo; son patrones que reflejan los cambios provocados por el proceso de adaptación a medida que pasa el tiempo y se acumulan experiencias. La segunda propiedad de los flujos es el “efecto reciclante” (el efecto de los ciclos en las redes).

La diversidad observada en un SCA es el producto de sus continuas adaptaciones. Cada nueva adaptación abre la posibilidad de posteriores interacciones y nuevos nichos y es un proceso que conduce al incremento de la diversidad a través del incremento del reciclaje, dando lugar a nuevas interacciones que se generan en el sistema y que permiten la regeneración de recursos dentro del mismo. Estas propiedades de los SCA permitieron posteriormente trabajarlas como variables independientes en el planteamiento metodológico dentro del modelo a analizar en dicha investigación, tratando de vincularlas a la gestión sustentable del agua en la ciudad.

Con el conocimiento y estructura de estas líneas teóricas enfocadas a la gestión sustentable del agua es que se pudo construir el modelo expuesto más adelante, bajo el contexto de una vivienda de interés social en el Área Metropolitana de Guadalajara.

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

A continuación se describirá cómo fue que se estructuró el presente modelo en cada una de las fases desarrolladas. En la primera etapa de la metodología fue necesario definir el caso de estudio, así como describir la problemática que se abordaría. Para este caso en específico se centró la problemática en el estudio del comportamiento de la infraestructura hídrica en la vivienda de interés social en el Área Metropolitana de Guadalajara.

Posterior a definir el emplazamiento de análisis se comenzó a revisar la disponibilidad de datos procedentes de diferentes fuentes de información para la descripción de la problemática. En esta primera etapa se tuvo que revisar la disponibilidad de datos en relación con el agua dentro de las diferentes fuentes de información proporcionadas (INEGI, Conagua, Servicio Meteorológico Nacional, entre otros) para relacionarlos directamente con el comportamiento de la infraestructura hídrica de la vivienda social. Después de la obtención de los datos, estos tuvieron que analizarse para poder realizar una contextualización y detección de la problemática que se abordaría.

Con ayuda de la revisión de los marcos teóricos, se pudo generar una relación conceptual de lo ya analizado. Fue así como se definieron las categorías clave y se establecieron las variables que permitieron hacer operativo el análisis a través de sus indicadores. En esta parte de la metodología se efectuó una revisión de la información disponible para ver si podrían hacerse operativas las variables seleccionadas.

Para este análisis en particular se generó un relación teórica-conceptual entre el estudio de Krier (Redes de la ciudad), Marsalek (Ciclo urbano del agua) y Holland (Sistemas complejos). Se identificaron una serie de variables procedentes de estos marcos teóricos que permitieron el planteamiento del modelo que estudiará el funcionamiento de la infraestructura hídrica en relación con la gestión sustentable de recursos hídricos. Para efectuar dicho análisis se consideraron las siguientes variables, indicadores y datos mostrados en la siguiente tabla.

Dentro del análisis teórico que se desarrolló de los conceptos mostrados en la tabla anterior se detectó la vinculación directa de los conceptos de Krier y Marsalek. En primer lugar porque el ciclo urbano del agua es la relación entre el ciclo hidrológico natural y las infraestructuras encargadas de abastecer y distribuir el agua en la ciudad, que si se observa a detalle son las mismas infraestructuras a las que se refiere Krier dentro de la red económica (sistema de abaste-

cimiento, saneamiento y alcantarillado). Por su parte, la conceptualización de Holland permite entender el comportamiento de estas redes dentro del sistema urbano. Así es como a partir de estas variables expuestas es que se estructuró el modelo propuesto.

En esta etapa operativa de la investigación fue necesario hacer un diagnóstico del sistema que se estudiaría, en el que se permitiera la construcción y una conceptualización del mismo. Los estudios de diagnóstico permiten la identificación de procesos y mecanismos, concatenación de eventos que han sucedido en un intervalo de tiempo. El diagnóstico del funcionamiento de una estructura requiere conocer los procesos que condujeron a su estructuración (García, 2011).

En esta etapa fue necesaria la construcción de modelos que representaran la realidad que se quiere estudiar. Para tal fin se desarrolló una serie de modelos estructurados bajo la simbología de Odum,¹ en donde primero se representó el comportamiento de la vivienda en un estado actual para después complejizarlo y representarlo de una manera más sustentable. Los primeros modelos presentados fueron graficados como diagramas de Odum y posteriormente modelados con el *software* STELLA, especializado en sistemas dinámicos.

En la siguiente imagen se puede observar un diagrama que muestra el comportamiento de una vivienda convencional en función de sus ingresos y salidas de agua. Del lado izquierdo se pueden observar las fuentes de abastecimiento de agua del sistema (lluvia (ALL) y agua potable de la red (P)). Dentro del sistema se puede observar la cisterna de almacenaje de agua potable (Ci) que permite resguardarla para su consumo (Co). También se pueden visualizar las salidas de agua de lluvia y aguas negras. Dentro de este sistema el agua de lluvia no se aprovecha y sale como agua de es-

1. El lenguaje de Odum está inspirado en los diagramas de flujo de los programas de computación y sirve para diseñar modelos que representan los componentes y procesos de un ecosistema dado. Es una herramienta útil para interpretar lo que ocurre en un ambiente. Para comprender un poco más de este lenguaje, revítese el anexo 2 de este documento.

TABLA 1. Conceptos variables e indicadores para elaboración del modelo de análisis

Variable independiente	Variables dependientes	Indicador	Dato necesario	Se dispone del dato sí/no	
Diversidad	Nuevas interacciones	Disponibilidad de paquetes tecnológicos que puedan incorporarse al sistema hidráulico-sanitario	Paquetes tecnológicos centrados en el agua disponibles en el mercado local.	Sí.	
	Regeneración de recursos	Vertido de aguas/infiltración	Infiltración en AMG	Sí	
Agregación	No. De interacciones/conexiones	Nuevas centralidades de abastecimiento: Se considera cuando el sistema cuenta con varias opciones para abastecerse de recursos hídricos, aparte del sistema de abastecimiento centralizado.	Fuente/s secundarias de abastecimiento de agua independientes al sistema centralizado.	Sí	
			Tipo de sistema de abastecimiento centralizado/descentralizado.	Sí	
Flujos	Efecto reciclante	Índice de autosuficiencia hídrica: Porcentaje de ahorro en el consumo de agua potable del sistema de abastecimiento centralizado con respecto a alguna fuente externa de abastecimiento secundaria no centralizada.	Dotación diaria con en relación con el uso de suelo.	Sí	
			Consumo hídrico por usos y calidades	División de la dotación diaria.	Sí
			Consumo de agua no potable	Porcentaje de la dotación diaria destinado al consumo de agua de una fuente secundaria.	Sí
			Porcentaje de sustitución de parte de la demanda por agua no potable		
			Reutilización de aguas negras, grises y de tormenta	Porcentaje de reciclaje de aguas negras, grises o de tormenta.	No se cuenta con toda la información, solo se cuenta con el dato de aguas negras.
			Potencial de captación	Pluviometría	Sí
	Superficies construidas	Sí			
	Superficie no construida	Sí			
	Coeficiente de los materiales de las superficies	Sí			

Fuente: Elaboración propia a partir de los conceptos teóricos de Holland, Marsalek y Krier.

correntía,² que se incorpora después al sistema de drenaje urbano junto con las aguas negras.

En la siguiente imagen se puede visualizar el diagrama de vivienda sustentable que, comparado con el diagrama de vivienda anterior, ha incorporado a su estructura otro ícono de almacenamiento, además de la cisterna de agua potable (Ci). Se ha incluido al sistema una cisterna de captación de agua pluvial (CAP) que permitirá que el agua de lluvia se aproveche dentro del sistema de la vivienda. Además, este flujo sobrante después de la captación de agua de lluvia será enviado a través de las calles a las áreas verdes para darle un uso alternativo o, en su defecto, a un pozo de infiltración (I). Este mismo sistema también propone el tratamiento de aguas negras y grises (G/N) para su reincorporación al sistema con el

propósito de minimizar las salidas de las mismas. Se observa que este último sistema presenta más complejidad en su estructura.

Después de haber estructurado estos sistemas y entender el comportamiento de la red hidráulica de la vivienda bajo una perspectiva alterna y otra sustentable, se continuó con la modelación de estos sistemas a través del *software* STELLA. Este *software* permite la modelación de sistemas dinámicos, como una red de nodos y conectores. La interface de este *software* permite la construcción gráfica del sistema (como aparece en las siguientes imágenes), para la incorporación de variables con un valor asignado que serán vinculadas entre sí. Posteriormente, este diagrama se correrá y se obtendrán gráficas y matrices de datos del mismo, que permitirán entender su funcionamiento. En las siguientes imágenes se podrá observar en primer lugar el diagrama convencional y después el sustentable.

2. Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie del terreno.

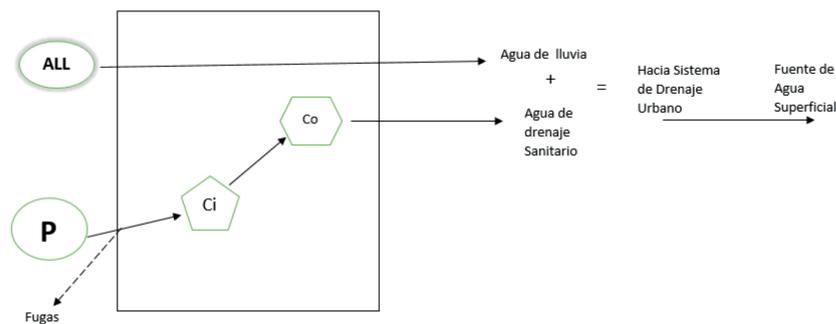


IMAGEN 1. "Modelo convencional en la vivienda". Fuente: Elaboración propia.

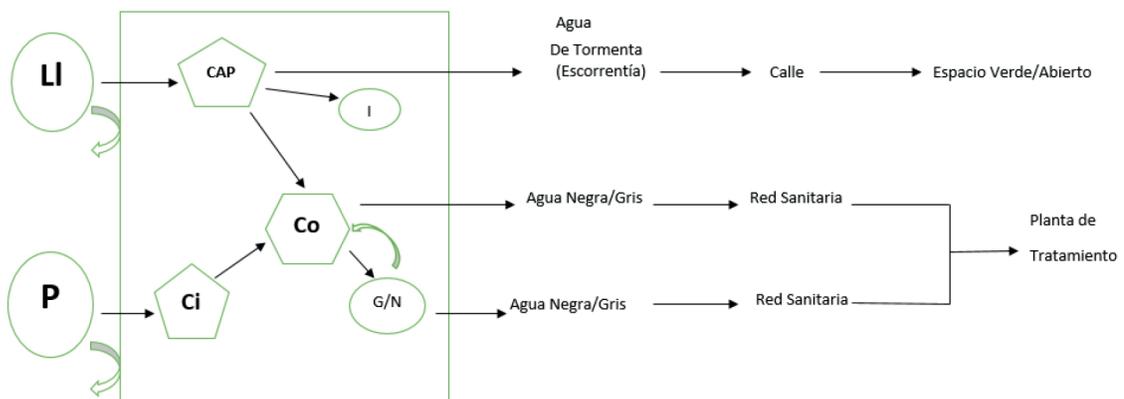


IMAGEN 2. "Modelo de vivienda alterno". Fuente: Elaboración propia.

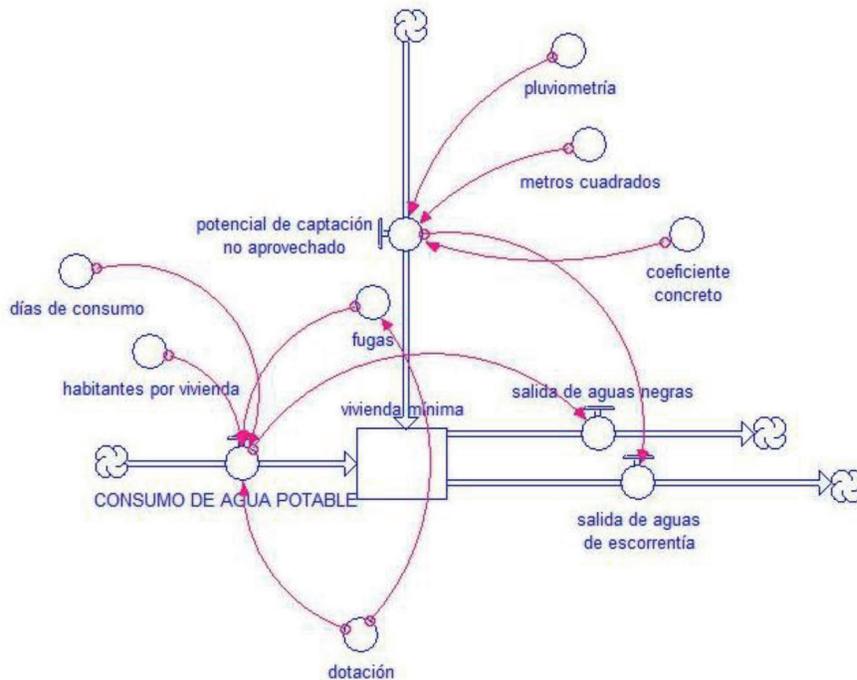


IMAGEN 3. “Modelo convencional”. Fuente: Elaboración propia por medio del *software* STELLA.

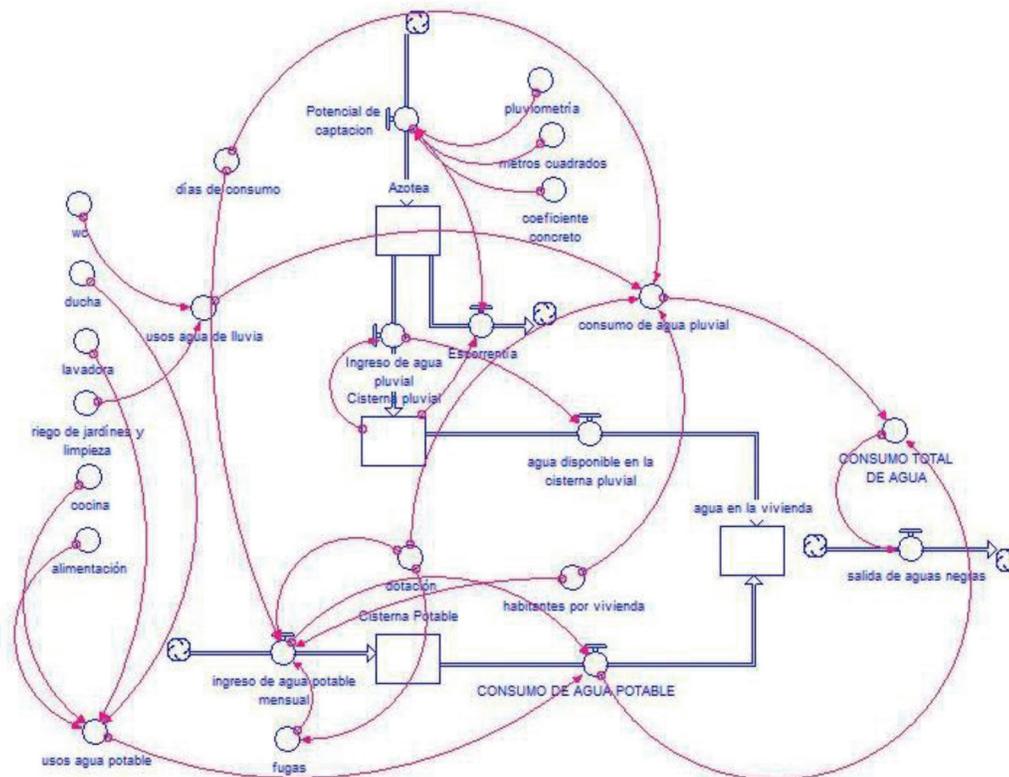


IMAGEN 4. “Modelo alternativo”. Fuente: Elaboración propia a través del *software* STELLA.

Este *software*, además de modelar, también permite la obtención de gráficas y matrices en las cuales se puede cuantificar y observar el comportamiento del sistema modelado, para posteriormente acudir a su interpretación. Así

se muestra en las siguientes imágenes, en las que se pueden apreciar una gráfica y una matriz de datos con algunos resultados obtenidos del modelo sustentable.

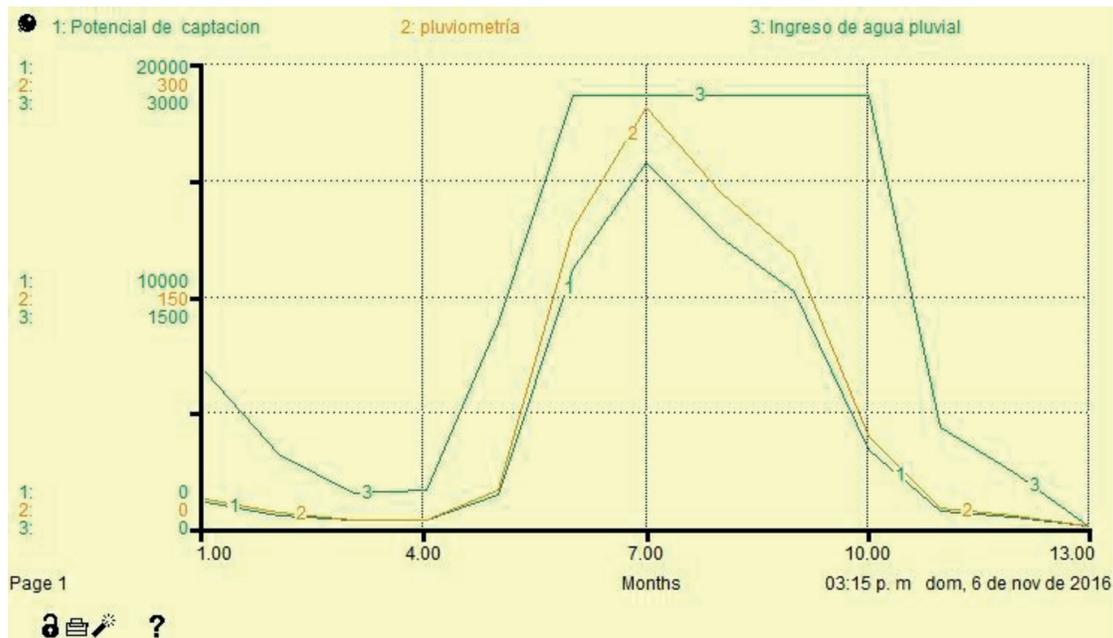


IMAGEN 5. Gráfica del ingreso de agua pluvial, potencial de captación y pluviometría. Fuente: Elaboración propia a través del *software* STELLA.

Months	Ingreso de agua pluvial	Potencial de captación	pluviometría
1	1,002.24	1,002.24	17.40
2	460.80	460.80	8.00
3	213.12	213.12	3.70
4	230.40	230.40	4.00
5	1,319.04	1,319.04	22.90
6	2,800.00	11,151.36	193.60
7	2,800.00	15,678.72	272.20
8	2,800.00	12,458.88	216.30
9	2,800.00	10,137.60	176.00
10	2,800.00	3,300.48	57.30
11	633.60	633.60	11.00
12	345.60	345.60	6.00
Final			0.00

IMAGEN 6. Tabla de los valores de ingreso de agua pluvial, potencial de captación y pluviometría. Fuente: Elaboración propia a través del *software* STELLA.

En la gráfica y la matriz de datos anterior se puede observar el comportamiento de algunas variables del sistema, como lo son la pluviometría, el ingreso de agua pluvial y el potencial de captación, en el cual se trató de simular el comportamiento de las mismas mes a mes durante un año; esto se hizo para poder cuantificar la cantidad de agua de lluvia que le era posible captar a la vivienda de interés social (estos resultados son solo una muestra de muchos otros que se pudieron obtener). Al culminar esta etapa de la investigación y contemplando los resultados obtenidos de los modelos convencionales y alternos se generó una serie de conclusiones y prospectivas en torno al comportamiento de los diferentes sistemas en la vivienda de interés social.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DESDE LA VIVIENDA

En el caso particular del modelo de vivienda se detectaron limitantes en el uso de suelo y dentro de la infraestructura hídrica actual. A esta conclusión se llegó como resultado de las limitantes que se visualizaron dentro del modelo con respecto a la ubicación y dimensionamiento de la cisterna de captación, así como el poco espacio disponible dentro del predio de la vivienda. Con respecto a la infraestructura, se identificaron las limitantes con las que cuenta el sistema de drenaje y alcantarillado urbano que, al combinar sus salidas de aguas negras y pluviales, ocasiona que se colapse el sistema en temporadas de lluvias. Esta situación, a la vez, trae como resultado que el tratamiento de esas salidas sea costoso y más complejo al revolverse con materias orgánicas, cuando desde un inicio podría plantearse la separación de las mismas para un mejor manejo y gestión.

Al analizar el comportamiento de los sistemas generados, desde una perspectiva más urbana, se llegó a la conclusión de que los sistemas de captación de agua pluvial podrían tener éxito si trabajaran de forma conjunta con otros sistemas en distintas escalas urbanas. Es aquí donde, además

de la captación pluvial, valdría la pena analizar la implementación de otros sistemas complementarios como filtros, dispositivos ahorradores y de tratamiento de aguas residuales, además de reforzar la concientización del ahorro a través de mejores prácticas de consumo dentro del hogar (cultura del agua). Conforme se integren más tecnologías sustentables en torno al agua, se propondrá un modelo de vivienda más eficiente.

También sería útil analizar desde el punto de vista energético el comportamiento del sistema (en relación con el consumo energético que generaría la bomba para el funcionamiento de la cisterna) y cómo el consumo se ve reflejado en los gastos de funcionamiento de la vivienda. Así se puede corroborar si el ahorro económico en el consumo de agua es considerable en relación con el pago de la tarifa de luz.

Considerando ahora los nuevos asentamientos de vivienda en donde se proponga la implementación de tecnologías en torno a la gestión sustentable del agua, es necesaria la propuesta de una nueva tipología de vivienda y morfología urbana, en donde se visualice desde un inicio, en las etapas de proyectación y diseño, la incorporación de las mismas en la infraestructura urbana y en la vivienda, no después de que ya han sido construidas.

Esta propuesta permite visualizar que también es necesaria una reconfiguración en las metodologías de diseño y proyectación urbana y de vivienda. Para tal fin también se tiene que efectuar una reconsideración de los sistemas constructivos (específicamente en vivienda social) y analizar, desde una perspectiva a futuro, cuáles serían los procedimientos constructivos y estructurales óptimos para la incorporación a largo plazo de tecnologías de gestión de agua. Con estas adecuaciones se promovería aún más la concentración tecnológica en función de la vivienda, considerando a esta unidad como un elemento clave dentro del funcionamiento de la ciudad.

Si se analiza este modelo dentro del contexto de la vivienda sustentable en México, este es aún básico en el manejo sustentable de recursos hídricos. Y a pesar de que ya se tiene en conside-

ración por parte de programas de orden gubernamental, la aplicación tecnologías de captación de agua pluvial, infiltración y tratamiento de aguas residuales, todavía no existen instrumentos que la respalden desde lo normativo y políticas públicas.

Desde el ámbito urbano, con base en el análisis de las propuestas de los modelos en áreas de uso público y social, en donde puedan promoverse los sistemas de captación urbana-comunitaria, se ha detectado una oportunidad de crear nodos de gestión de agua descentralizados de la red general, que le den más solidez al sistema, considerando que la estabilidad de un sistema depende del grado de complejidad de su red de relaciones y esta de la diversidad del sistema urbano. Se pueden crear así nuevas centralidades y escalas de gestión de recursos hídricos en la ciudad. Al crear nuevas áreas de centralidad dentro de las infraestructuras y hacer más maduras las existentes, la autosuficiencia de los flujos en la ciudad aumentará.

BIBLIOGRAFÍA

- García, R. (2011). *Interdisciplinariedad y sistemas complejos*. Obtenido de http://contenidosabiertos.academica.mx/jspui/bitstream/987654321/504/1/interdisciplinariedad_y_sistemas_complejos.pdf
- Holland, J. H. (2011). *El orden oculto: de cómo la adaptación crea la complejidad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Krier, L. (2011). *The Architecture of Community*. Washington: Island Press.
- Marsalek, J. (2007). *Urban Water Cycle Processes and Interactions*. Londres: UNESCO.
- ONU-HABITAT. (15 de noviembre de 2016). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de ONU-HABITAT. *Por un mejor futuro urbano*. http://www.un.org/es/events/habitatday/pdfs/ONU-HABITAT_brochure.pdf
- Pauleit, S. y Friedrich, D. (19 de julio de 2000). *Assessing the Environmental Performance of Land Cover Types for Urban Planning*. Munich: Technische Universität München.
- Rueda, S. *Indicadores relacionados con el metabolismo urbano*. Recuperado el 20 de septiembre de 2015, de sitio web del ayuntamiento de Sevilla: http://www.sevilla.org/urbanismo/plan_indicadores/4-Metabolismo%20urbano.pdf
- SEMARNAT (2013). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 20 de septiembre de 2015. <http://www.dof.gob.mx/>
- SIAPA (2015). *Los informes trimestrales y anuales de actividades del sujeto obligado*. Recuperado el 18 de septiembre de 2015, de sitio web de SIAPA. <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/los-informes-trimestrales-y-anuales-de-actividades-del-sujeto-obligado>.