

Vanessa Sattele Gunther

El pensamiento
sistémico para
la vivienda sostenible
en la Ciudad de México

El pensamiento sistémico para la vivienda sostenible en la Ciudad de México

Vanessa Sattelle Gunther | Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI)
Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

vanessa.sattelle@cidi.unam.mx

Fecha de recepción: 24 de abril de 2019 | Fecha de aceptación: 12 de junio de 2019

Resumen

La profesión del diseño industrial se enfoca cada vez más en resolver problemáticas complejas. A su vez las soluciones de diseño planteadas ya no son objetos aislados sino Sistemas de Productos y Servicios o *Product Service Systems (PSS)*. En este sentido existen nuevas tendencias como el Diseño Sistémico, que ha explorado algunos métodos para abordar este tipo de proyectos, sin embargo, existen pocas herramientas gráficas que se puedan aplicar de forma práctica. El siguiente artículo presenta una introducción al pensamiento sistémico y su aplicación en el caso de estudio: la vivienda sostenible en la Ciudad de México. Se retoman elementos del pensamiento sistémico para analizar el consumo de recursos en la vivienda actual a través de un modelo gráfico. Posteriormente se describe cómo propuestas de Sistemas de Servicios y Productos pueden ser analizadas dentro del mismo modelo para identificar su posible potencial de cambio. Finalmente se discute la utilidad de esta herramienta dentro del campo del diseño industrial.

Palabras clave | pensamiento sistémico, sistemas, vivienda sostenible, diseño, método

Systemic thinking for sustainable housing in Mexico City

Abstract

The industrial design profession is increasingly focusing on solving complex issues. In turn, the proposed design solutions are no longer isolated objects but Product Service Systems (PSS). In this sense there are new trends such as Systemic Design that has explored some methods to tackle this kind of projects, however there are few graphic tools that can be applied in a practical way. The following article presents an introduction to systemic thinking and its application in the case study: sustainable housing in Mexico City. Elements of systemic thinking are taken up to analyze the consumption of resources in current housing through a graphic model. Later it is shown how proposals for Product Service Systems can be visualized within the same model to identify their potential for change. Finally, the usefulness of this tool within the field of industrial design is discussed.

Keywords | systemic thinking, systems, sustainable housing, design, method

Copyright

Centro de Diseño y Comunicación, S.C.© 2019. Este es un artículo de acceso abierto distribuido según los términos de la Licencia de Atribución de Creative Commons ([CC BY-NC-ND 4.0](#)), que permite la descarga, el uso y la distribución en cualquier medio, sin propósitos comerciales y sin derivadas, siempre que se acredite al autor original y la fuente.

Introducción

El pensamiento sistémico es un enfoque para analizar y comprender las relaciones dentro de un sistema formado por elementos interconectados. Nace a partir de la teoría general de sistemas, que tiene su origen a mediados del Siglo XX en el campo de la biología (Bertalanffy, 1968) y se aplica en campos como la cibernética (Wiener, 1948), la teoría de la información (Shannon y Weaver, 1949) o la dinámica de sistemas (Forrester, 1968).

Bertalanffy definió a los sistemas vivos como sistemas abiertos que están en constante interacción con el medio que los rodea. Posteriormente, Maturana y Varela (1973) presentaron el concepto de autopoiesis, que define a los seres vivos como sistemas auto-organizados que se pueden regular y modificar por sí mismos.

Un sistema complejo se puede definir como un grupo de elementos que interactúan, (Simon, 1996) en donde la interacción entre estos múltiples elementos genera un comportamiento global que no se puede reducir al comportamiento de sus componentes separados (Gershenson y Heylighen, 2005). A esta propiedad se le puede llamar emergencia (Anderson, 1972). Algunos ejemplos de sistemas complejos son una célula viva, una sociedad o una ciudad (Gershenson, 2005). Para poder estudiar un sistema se puede realizar un modelo gráfico o matemático, es decir una interpretación humana del mismo, a partir del cual se pueden crear simulaciones. Dentro de los distintos gráficos que se usan para estudiar a los sistemas encontramos por ejemplo los diagramas causales o *causal-loop diagrams* (CLD), que se enfocan en explicar la retroalimentación dentro de un sistema (Kim, 1992).

La dinámica de sistemas (Forrester, 1968), que tiene sus orígenes a mediados de 1960 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), estudia el comportamiento de estos a través del tiempo con diagramas o modelos interactivos.

Otro tipo de representación gráfica se usa en el análisis de redes sociales o *Social network analysis* (Scott, 1991), que estudia las relaciones e interacciones entre

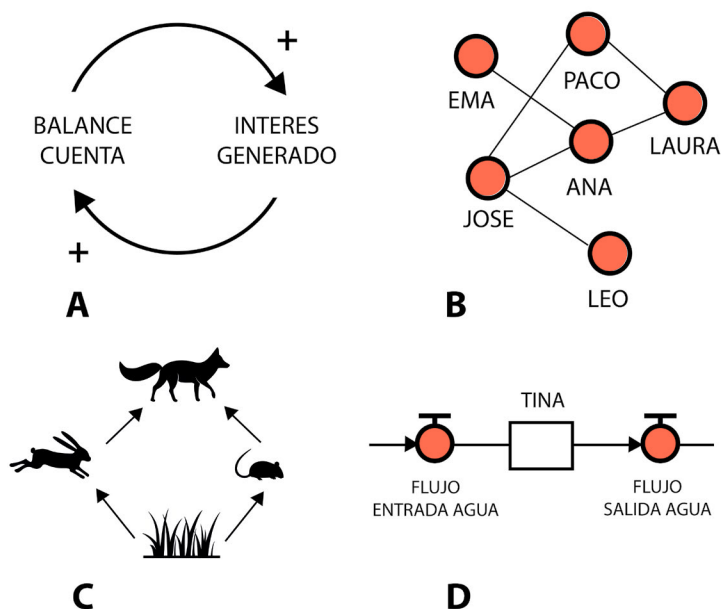


Figura 1

Ejemplos de distintos modelos gráficos de sistemas: **A.** Diagrama causal **B.** Diagrama de análisis de redes sociales. **C.** Diagrama de una red trófica, **D.** Diagrama de dinámica de sistema con flujos y depósitos.

Fuente | elaboración propia con íconos de www.thenounproject.com

distintas personas o entidades (Fig. 1). La estructura del sistema se representa a través de nodos que son los actores y ligas que son las conexiones o interacciones entre los mismos.

En ecología tenemos como ejemplo de modelo gráfico las redes tróficas o redes alimentarias. Estas muestran los ciclos alimenticios de distintas especies y cuál se come a cuál dentro de un ecosistema. En estas redes se distingue también a los organismos que usan la energía del ambiente (autótrofos) y los que deben consumir a otros organismos para obtener energía (heterótrofos) (Lindeman, 1942; Pimm, Lawton y Cohen, 1991).

En los últimos años se ha retomado el pensamiento sistémico dentro del campo del diseño y se habla incluso de diseño sistémico. (Nelson y Stolterman, 2012; Sevaldson, 2013; Jones, 2014; Jones y Kijima, 2018; Da Costa Junior, Diel y Snelders, 2019) Un ejemplo es la Red de investigación para el diseño sistémico o *Systemic Design Research Network (SDRN)*, en donde participan entre otras la Escuela de Arquitectura y Diseño de Oslo, la Universidad Politécnica de Torino y la Universidad OCAD de Toronto.

Jones (2014) menciona que “el diseño sistémico se distingue del diseño de servicios o experiencias en términos de escala, complejidad social e integración”. La necesidad de este tipo de enfoque en la disciplina del diseño va de la mano con la tendencia de la misma a abordar problemáticas cada vez más complejas, también llamadas “retorcidas” o *wicked problems* (Buchanan, 1992). La escasez de agua o la contaminación y retos de movilidad en la Ciudad de México son ejemplos de este tipo de problemas, ya que tienen diversas causas que pueden ser infraestructurales, tecnológicas y económicas, hasta políticas, educativas y culturales. En este sentido Buchanan (1992) habla de cuatro áreas de enfoque del diseño: la primera es el diseño de la comunicación visual y simbólica, la segunda se ocupa de objetos materiales, la tercera de actividades/servicios organizados y como cuarta sitúa al diseño de sistemas complejos.

En realidad, todo tipo de diseño puede ser un elemento dentro de un sistema o un sistema en sí mismo (Nelson y Stolterman 2012). Esto se hace más notorio a partir de los avances tecnológicos de los últimos años, que permiten que redes de usuarios y productos puedan intercambiar información entre sí y puedan conectarse a servicios a través de diversas plataformas y protocolos de información. El Internet de las Cosas o *Internet of Things (IoT)* permite que objetos inteligentes conectados entre sí y con la nube mediante sensores, intercambien información, con lo cual nuestra casa puede convertirse en una Casa Inteligente o *Smart Home* y nuestra ciudad en una Ciudad Inteligente o *Smart City* (Hui, Sherratt y Díaz-Sánchez, 2017).

Hoy se habla de Sistemas de Productos y Servicios o *Product Service Systems (PSS)*, que se pueden definir como “una estrategia de innovación, cambiando el enfoque comercial del diseño y venta de únicamente productos físicos, al diseño y venta de un sistema de productos y servicios que conjuntamente son capaces de satisfacer demandas específicas de los clientes” (Manzini y Vezzoli, 2002). Es importante mencionar la nueva definición de “producto”, ya no como resultado de un proceso de producción industrial sino como el resultado de objetos y servicios interdependientes que se enfocan en cubrir la necesidad del cliente.

(Manzini y Vezzoli, 2002) Cuando un PSS logra reorientar tendencias no sostenibles en las prácticas de producción y consumo, se podría definir como un PSS Sostenible o Eco-eficiente (Manzini y Vezzoli, 2002; Vezzoli et al, 2014).

En este sentido, se puede hablar de niveles en el enfoque de diseño para alcanzar cambios en la sostenibilidad. Ceschin y Gaziulusoy (2016) identifican como primer nivel el diseño del producto, principal campo de estudio de la profesión del diseño industrial. En segundo nivel mencionan el diseño de Sistemas de Productos y Servicios o *Product Service Systems* (PSS) que se mencionaron anteriormente. En tercer nivel sitúan a los sistemas socio-espaciales donde podemos encontrar al diseño para la innovación social. Como cuarto nivel, definen a los sistemas socio-técnicos, en donde proponen un nuevo término de diseño, el diseño para las innovaciones y transiciones en un sistema, o *Design for System Innovations and Transitions*.

A pesar del creciente interés del diseño en un enfoque sistémico y las corrientes antes mencionadas, en particular el Diseño Sistémico, existen pocos ejemplos o metodologías derivadas del pensamiento sistémico científico que puedan ser fácilmente aplicables al diseño. De alguna manera la forma más intuitiva de integrar el pensamiento sistémico al diseño puede darse a través del uso de modelos gráficos. En este sentido se ha planteado el uso de herramientas para generar modelos visuales como el *Gigamap* (Sevaldson, 2011; Sevaldson 2015) o el *Synthesis Map* (Jones y Bowes, 2017).

A continuación, se presenta un caso de estudio para ejemplificar cómo a través de un método basado en el pensamiento sistémico se puede generar un modelo gráfico, al que llamaremos mapa de sistema, el cual puede ser útil dentro de un proyecto de diseño como herramienta de análisis y evaluación de propuestas de diseño enfocadas a provocar un cambio a nivel sistémico.

Caso de estudio: la vivienda sostenible en la Ciudad de México

A lo largo de la historia, el ser humano se ha rodeado de objetos y servicios que le facilitan la vida diaria en la comodidad de su hogar, como lavadoras, refrigeradores y estufas, entre muchos otros, generando un aumento en la demanda de recursos como agua, luz, gas y electricidad. Hoy en día la Ciudad de México presenta problemáticas complejas como son la escasez de agua y la generación de desechos en aumento exponencial. La vivienda y la ciudad podrían compararse con un organismo, ya que consumen energía y recursos y a su vez generan desechos. Se ha estudiado incluso el concepto de metabolismo urbano (Kennedy, Pincetl y Bunje, 2011; Zhang, 2013; John, Luederitz, Lang y Wehrden, 2019). El pensamiento sistémico ya ha sido ampliamente aplicado para estudiar a las ciudades como sistemas complejos o sistemas adaptativos complejos (Batty, 2008; Batty, 2013; White, Engelen y Uljee, 2015; Wolfram, Frantzeskaki y Maschmeyer, 2016).

Dentro del Centro de Investigaciones de Diseño Industrial de la UNAM se llevó a cabo el proyecto de investigación “productos de diseño industrial aplicados a la vivienda sostenible del futuro” entre 2016 y 2018, financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la misma institución. El principal objetivo de este proyecto fue explorar nuevas propuestas para Sistemas de Productos y Servicios Sostenibles enfocados al ahorro de recursos en la vivienda de la Ciudad de México, desde la perspectiva de la disciplina del diseño industrial.

El proyecto originalmente se desarrolló en tres etapas: investigación, generación de conceptos y validación, con un método propio que se construyó a partir de metodologías como el diseño centrado en el usuario (Norman y Draper, 1986; Brown, 2008; IDEO, 2015) y la prospectiva (Raymond, 2010). En la primera etapa se llevó a cabo investigación documental, entrevistas a 20 expertos en distintas áreas de conocimiento y 45 entrevistas a habitantes de la Ciudad de México, así como levantamiento fotográfico en sus viviendas. Las entrevistas a habitantes se llevaron a cabo a través de preguntas abiertas y discusión sobre los recibos

de agua, luz y gas para recolectar información de carácter cualitativo. Las preguntas estaban enfocadas a entender los hábitos de consumo de servicios, la generación y separación de basura en cada vivienda, así como indagar si los usuarios estaban conscientes de su gasto o si habían implementado alguna medida de ahorro. El rango de entrevistados fue entre los 21 y 61 años, de sexo masculino y femenino, en viviendas de distintas constelaciones como familias de tres, cuatro, cinco y hasta seis integrantes, parejas sin hijos, cohabitantes y unipersonales. Se realizaron en distintas colonias de las delegaciones Álvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco, así como en el Estado de México en Ecatepec, Lerma y Tianguistengo. Se procuró que la muestra fuera lo más diversa posible, sin embargo, la mayoría de candidatos se seleccionaron a través de contactos directos e indirectos del equipo de diseño ya que accedieron a la toma de fotografías en sus viviendas. El número de entrevistas se determinó por el tiempo que se tenía a disposición y las capacidades del equipo de diseño, conformado por profesores y alumnos.

La información recopilada se analizó a fin de encontrar hallazgos que pudieran llevar a la generación de conceptos de diseño. A continuación, se mencionan algunos de dichos hallazgos:

- 1 Existen amplias diferencias en la actitud de los usuarios hacia el ahorro de recursos, algunos son muy conscientes de ello mientras otros no muestran ningún interés
- 2 El mayor motivador para el ahorro de recursos es el ahorro monetario o la necesidad por falta o escasez del servicio
- 3 Los habitantes que no son responsables de pagar los servicios pocas veces tienen conciencia del costo de los mismos
- 4 Los habitantes que son responsables de pagar los servicios no saben si su consumo es mayor o menor al de otras viviendas, pues el recibo solo muestra el consumo total de la vivienda

- 5 Los usuarios que no reciben los servicios de forma constante, sobre todo el servicio de agua, adoptan hábitos de ahorro por necesidad, como por ejemplo reciclar el agua de la regadera en el WC o lavar los patios con el agua jabonosa de la lavadora
- 6 Muchos de los habitantes que pagan los servicios buscan estrategias para minimizar el consumo, como implementar focos o calentadores de gas ahorradores. Estarían interesados en implementar otras tecnologías como celdas solares o captadores de agua de lluvia pero no lo hacen por el alto costo inicial que representan o por la dificultad de instalación de las mismas
- 7 Muchos de los habitantes que viven solos o en pareja tienen un problema de desperdicio de alimentos
- 8 En cuanto a separación de basura, la que más dificultades plantea para su gestión, es la orgánica
- 9 Pocos usuarios tienen una composta, si la tienen generalmente es porque tienen un jardín propio

Estos hallazgos señalan que las soluciones de diseño deberían provocar un ahorro de recursos sin necesariamente demandar del usuario una acción específica, así como ser fácilmente implementables dentro de una vivienda. También se concluyó que las mismas deberían ser suficientemente flexibles para cubrir las necesidades de distintos grupos de usuarios. Por último, se decidió que las soluciones deberían ser escalables, con lo cual se requieren soluciones de Sistemas de Productos y Servicios, pues estas se pueden adquirir poco a poco incrementando el ahorro total mientras más crece el sistema. En cuanto a la información presentada respecto al gasto, debería facilitar el entendimiento del usuario en cuanto a su consumo promedio comparado con el de otros habitantes, así como incentivar el ahorro a largo plazo.

A partir de la información recopilada se definieron perfiles de usuarios y escenarios futuros. Con esta información se llevó a cabo un taller multidisciplinario en donde se generó una lluvia de ideas. Los conceptos se evaluaron con expertos en un segundo taller, analizando su impacto y viabilidad como solución de diseño.

Las tres propuestas seleccionadas se enfocaron en plantear soluciones para minimizar el consumo y gasto de servicios en la vivienda. Como tercera fase las propuestas se desarrollaron a través de modelado en 3D, diseño de interfaz gráfica, simuladores y prototipos.

Las tres propuestas que se desarrollaron fueron una aplicación digital para visualizar el consumo, un sistema para el ahorro de agua dentro del baño y un sistema para la conservación y producción de alimentos, los cuales se explicarán a detalle más adelante.

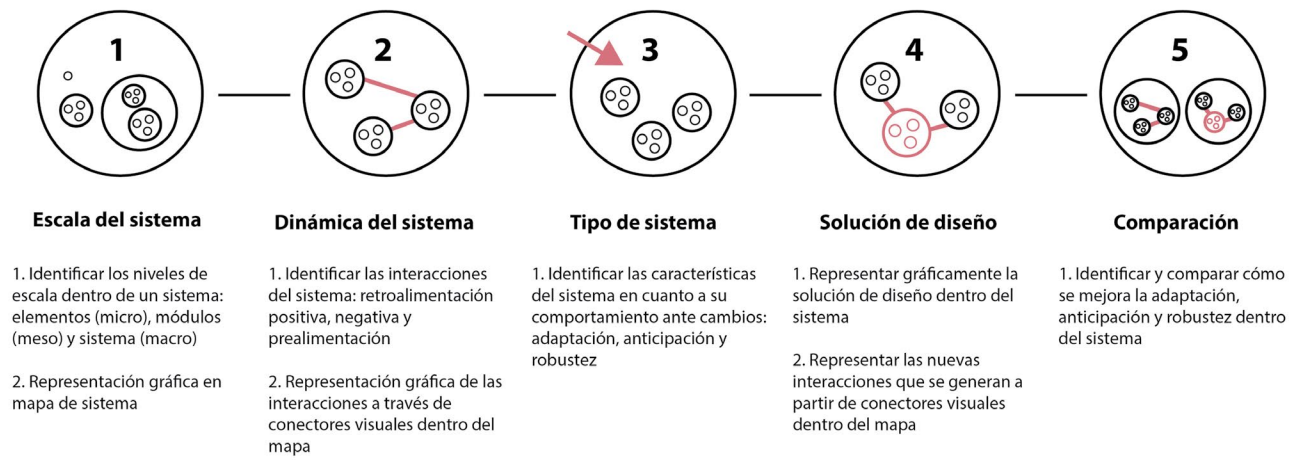
Uno de los retos del proyecto fue comunicar las ventajas en cuanto al ahorro dentro del sistema vivienda y el macrosistema ciudad por la complejidad de los elementos y sus conexiones, por lo que en una segunda fase del proyecto se consideró necesario aplicar el pensamiento sistémico a través del método gráfico que se presenta a continuación para generar un mapa del sistema (Fig. 2).

Método para análisis y generación de mapa de sistema

Para este método se proponen los siguientes pasos a seguir:

- 1** Análisis de la escala del sistema actual y su representación gráfica en un mapa de sistema
- 2** Análisis de la dinámica del sistema actual y su representación gráfica en el mapa de sistema
- 3** Análisis del tipo de sistema
- 4** Solución de diseño y su representación gráfica
- 5** Comparación de las ventajas de la solución de diseño a nivel sistémico, a través de los mapas de sistema generados.

A continuación, se explicará cada paso a través del caso de estudio, aplicando el pensamiento sistémico y el método gráfico.

**Figura 2**

Etapas para el análisis del sistema, la generación de mapa de sistema y su comparación con las soluciones de diseño planteadas.

Fuente | elaboración propia

1 Análisis de la escala del sistema actual y su representación gráfica en un mapa de sistema

Como primer paso, se propone el análisis a nivel escala del sistema objeto de estudio. El pensamiento sistémico describe un sistema a través de una escala a nivel micro (elementos), meso (módulos) y macro (sistema) (Fig. 3) (Liljenström y Svedin, 2005). Dentro de la vivienda podríamos analizar estos niveles como:

A Elementos (micro)

Los habitantes de una unidad de vivienda, los productos y los recursos que se consumen a partir de la actividad humana (por ejemplo, lavadora, refrigerador, estufa y la electricidad, gas y agua que usan).

B Módulos (meso)

Las diferentes áreas de una unidad de vivienda dependiendo de la actividad que se realiza en ellas (por ejemplo, baño, cocina, sala, etc.) y su conexión a los sistemas externos como luz, agua, drenaje, gas y recolección de basura.

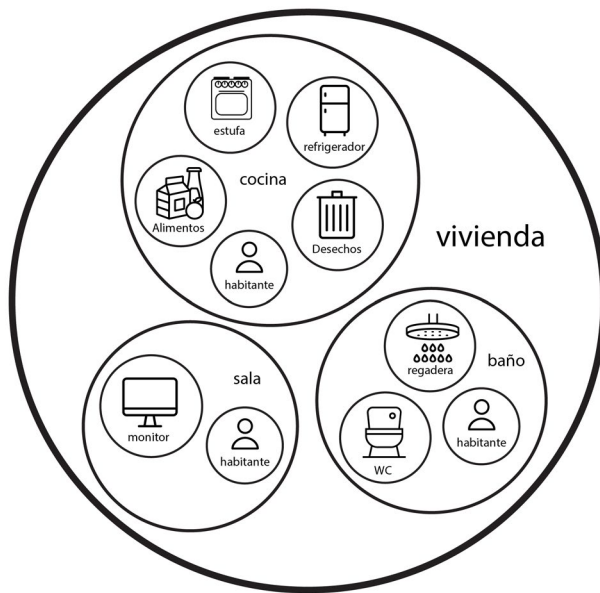


Figura 3
Elementos, módulos y sistema vivienda.
Fuente | elaboración propia con íconos de www.thenounproject.com

C Sistema (macro)

La unidad de vivienda como suma de todas las áreas o módulos. Adicionalmente, si tomamos a cada vivienda como un sistema, podríamos ver la red o suma de viviendas en una colonia, delegación o ciudad y sus interacciones como un metasistema.

Para entender los distintos niveles de escala en un sistema se propone el siguiente método gráfico que consiste en representar cada elemento con un ícono dentro de un círculo, que a su vez forma nuevos círculos que representan módulos y finalmente al sistema. Esta visualización generará un mapa del sistema.

Además, es importante analizar otros sistemas con los que interactúa el sistema vivienda, como por ejemplo el de agua y drenaje. Aquí los elementos son el agua potable, aguas grises y aguas negras; los módulos son las tuberías, cisternas o plantas de tratamiento y a nivel macro el Sistema Cutzamala y el Sistema de Drenaje y Tratamiento de Agua Residual de la Ciudad de México. En el caso del servicio eléctrico, como elemento básico se puede pensar a la electricidad misma, los módulos como el cableado o red y finalmente como sistema la Red Eléctrica

de la Ciudad de México que a su vez depende del suministro de las centrales hidroeléctricas. En cuanto al servicio de gas, como elementos podríamos tomar el tanque de gas estacionario o los cilindros de gas, como módulos los camiones de gas y como sistema las instalaciones de los distintos proveedores particulares, así como las plantas de almacenamiento y ductos. En el caso de los alimentos que consumen las viviendas, podemos analizar los insumos como los elementos, las diferentes tiendas, supermercados y la Central de Abastos como módulos y por último todo el sistema de abastecimiento de la Ciudad a través de sus distintos canales como metasistema. En el caso de los desechos, los elementos serían la basura que puede estar clasificada en orgánica, inorgánicos no reciclables, inorgánicos reciclables, y los de manejo especial; los módulos pueden ser el camión de la basura, centros de acopio, las estaciones de transferencia, plantas de composta, los rellenos sanitarios como el del Bordo Poniente y finalmente todo el Sistema de Separación de Residuos de la Ciudad de México.

Para representar gráficamente los sistemas-servicios externos que están conectados al sistema vivienda, se propone su simplificación a través de un círculo de distinto color por servicio con un ícono que lo distinga (Fig. 4).

2 Análisis de la dinámica del sistema actual y su representación gráfica en el mapa de sistema

El pensamiento sistémico estudia los tipos de retroalimentación entre los diversos elementos de un sistema. Como segundo paso se sugiere estudiar las dinámicas presentes en el sistema objeto de estudio.

La retroalimentación positiva se refiere a la tendencia de un elemento a cambiar en el mismo sentido que los otros elementos provocando una reacción en cadena. En cambio, la retroalimentación negativa se da cuando un elemento no cambia o se mantiene estable a pesar de que exista un cambio a su alrededor, o el cambio se da en la dirección opuesta (Kirkwood, 1998). La retroalimentación

negativa estabiliza a un sistema y es por ejemplo el mecanismo que genera la homeostasis. (Cannon, 1929) Un ejemplo de homeostasis es la constancia en la temperatura del cuerpo humano a pesar de cambios externos en el ambiente. Se usa también el término prealimentación o *feed-forward* para describir la anticipación de un sistema para adaptarse a cambios en el entorno (Åström y Murray, 2009). Dentro del caso de estudio del sistema de la vivienda, podemos encontrar entre otras las siguientes dinámicas:

A El impacto directo que tienen los hábitos de los usuarios sobre el consumo total de cada electrodoméstico o producto de diseño (por ejemplo, cuantas veces se abre y cierra el refrigerador, los litros de agua consumidos respecto a la duración de la ducha, etc.) y sobre el consumo total de recursos de la vivienda. En este caso existe una retroalimentación positiva ya que cualquier cambio en los hábitos de consumo de los usuarios tiene un impacto directo sobre el gasto total de los recursos y los desechos generados.

B El impacto que tiene la retroalimentación del estilo de vida o hábitos de cada habitante respecto a sus co-habitantes o vecinos. Aquí puede existir una retroalimentación positiva o negativa. Los hijos por ejemplo aprenden de los padres, y podrían adoptar sus hábitos de ahorro. Por otro lado, es posible que en otra vivienda, aunque uno de los habitantes quiera promover el ahorro, los demás se resistan al cambio, sobre todo si no son ellos quienes pagan las cuentas. En este caso, es deseable la retroalimentación positiva ya que si uno de los elementos (habitante) comienza a implementar buenos hábitos, los demás podrían imitar su comportamiento generando una reacción en cadena. En el caso de los vecinos, los habitantes pueden por ejemplo comprar un captador de agua de lluvia si ven que el vecino tiene uno. Pero también pueden dejarse influenciar para no realizar ningún cambio si la opinión general es que no son necesarios o si nadie lo ha implementado alrededor. Si se pudiera visualizar y comparar el gasto entre vecinos o ver el impacto positivo al implementar nuevas soluciones de ahorro, se podría promover más fácilmente el cambio.

C La retroalimentación entre el proveedor de servicios y la vivienda, en donde se mide y cobra el gasto y se envía al consumidor con una visualización comparativa respecto al promedio. Un ejemplo es el recibo de luz, en donde se especifican los niveles de consumo doméstico en categorías y se aplican distintas tarifas. Aquí se vuelve importante la retroalimentación cuando se instalan soluciones como celdas solares o sistemas de captación de agua pluvial, pues el consumo dependiente de los sistemas de proveedores disminuye. En el caso de la retroalimentación entre el proveedor de servicios y la vivienda, sería deseable que existiera una prealimentación del sistema. El proveedor de servicios podría enviar notificaciones al usuario si su consumo está siendo demasiado con anticipación antes de enviar el consumo total, para que éste pueda tomar medidas al respecto. Si el proveedor de servicios pudiera visualizar la demanda de consumo por hora del día o temporada, podría ajustar sus costos de manera que cuando hubiera menos demanda, los servicios fueran más accesibles y viceversa. Este tipo de prealimentación ya está siendo implementada en algunos países para la administración de la energía eléctrica en un modelo que se denomina Redes Inteligentes o *Smart Grids* (Farhangi, 2010).

D La interacción de una unidad de vivienda con respecto a otras, en donde una puede estar consumiendo recursos dejando sin ellos a otras, como por ejemplo la escasez de agua en una colonia debido a una nueva megaconstrucción al lado, problema común en la Ciudad de México (Bolaños - Sánchez, 2019).

E La interacción entre aspectos sociales, políticos, económicos y tecnológicos entre las distintas partes del sistema. Por ejemplo, la influencia de los problemas de corrupción que ocasionan que en algunas colonias no exista abastecimiento de agua o problemas con la tecnología en las tuberías que ocasionan fugas de agua, en donde se desperdicia hasta 40% del líquido (González, 2018).

Para el caso de las interacciones entre aspectos sociales, políticos, económicos y tecnológicos entre las distintas partes del sistema, como por ejemplo aspectos

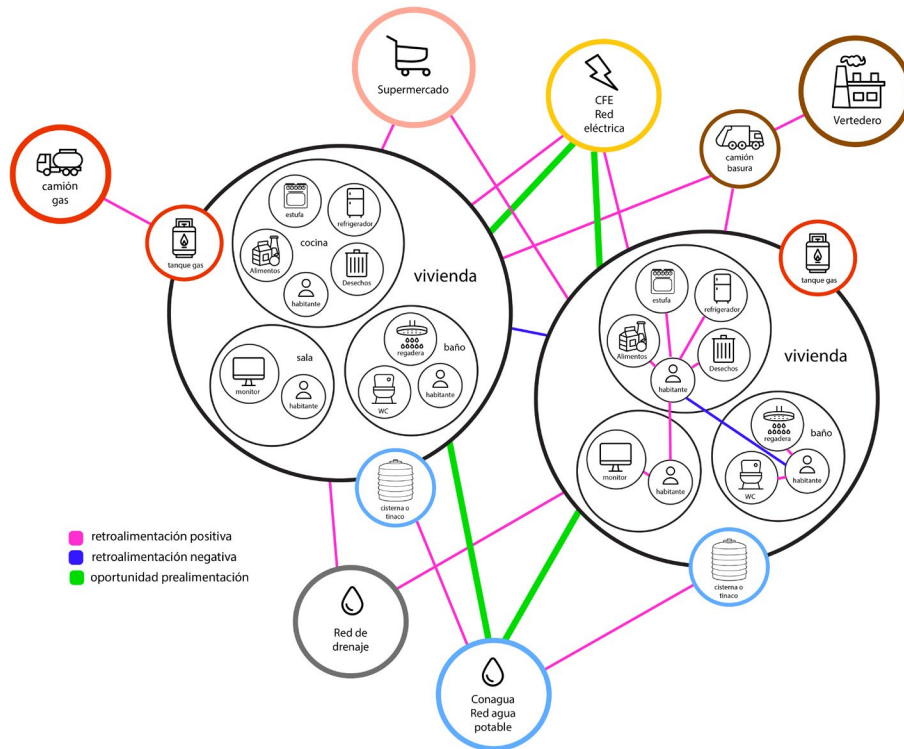


Figura 4

Ejemplos de retroalimentación y oportunidades de prealimentación en el sistema.

Fuente | elaboración propia con íconos de www.thenounproject.com

de corrupción, podríamos analizar la nueva información emergente que se genera a partir de las retroalimentaciones de los diferentes elementos. Se podría visualizar por ejemplo la nueva información que se genera y cómo se comportan los habitantes después de un corte de agua en diversas colonias para fines políticos como ha sucedido anteriormente con el cierre de válvulas (Gómez, 2018). En el caso de los desechos, se podría analizar cómo la implementación de nuevas leyes de separación de basura influyó en nuevos hábitos o cambios de consumo entre los habitantes.

Para visualizar las distintas interacciones dentro del sistema se propone representar las mismas a través de conectores visuales dentro del mapa de sistema, distinguiendo las retroalimentaciones positivas, negativas y oportunidades de prealimentación con distintos colores como se muestra en la figura 4.

3 Análisis del tipo de sistema

Como tercer punto podemos analizar al sistema en cuanto a su capacidad para mantener su estabilidad o no respecto a cambios externos. Un sistema descrito como auto-organizado es uno en donde los elementos interactúan para lograr

de forma dinámica una función o comportamiento global. Los sistemas auto-organizados exitosos tienen tres características para mantener su integridad en un entorno cambiante e impredecible: adaptación, anticipación y robustez. La adaptación le permite al sistema modificarse a su entorno, la robustez aguantar cambios sin perder su funcionalidad y la anticipación lo prepara para cambios antes de que ocurran (Gershenson, 2005).

Lo opuesto a un sistema robusto podría ser un sistema frágil (Taleb, 2012), en donde incluso pequeños cambios en el entorno generan cambios en el sistema a través de retroalimentaciones positivas. Se ha usado también el término antifrágil (Taleb, 2012), para definir a un sistema que aprovecha los cambios negativos externos para mejorarse. Uno de estos fenómenos es la hormesis (Mattson y Calabrese, 2010), en donde exposiciones a un agente aparentemente dañino en pequeñas dosis logran el efecto contrario, por ejemplo, las vacunas que son dosis controladas de un virus y logran la inmunidad ante el mismo en el cuerpo humano. Sería interesante pensar cómo un sistema de vivienda se podría beneficiar ante estos cambios del entorno.

Actualmente, podríamos ver a la vivienda y al metasistema de viviendas y servicios en algunos aspectos como un sistema robusto, pues, aunque existan cambios y fluctuaciones en la demanda, muchas viviendas siguen accediendo a los servicios sin mayor problema. Sin embargo, en otras colonias o delegaciones el sistema es sumamente frágil debido al entorno variable, en donde vemos por ejemplo que algunas colonias carecen de agua constantemente debido a fallas en el sistema de tuberías o por otras causas. Otro ejemplo de una fragilidad en el sistema es la casi completa dependencia del Sistema Cutzamala, en donde si por alguna razón existe un corte en el mismo se pueden ocasionar graves problemas de abastecimiento (Flores, 2018; Watts, 2015).

En lo que respecta a la energía eléctrica, existen ventajas al generarla de forma local a través de fuentes de energía renovable como la luz solar con ayuda de celdas solares, con lo cual el sistema se vuelve más robusto. Con ello

se logra descentralizar la energía; el exceso generado se puede regresar a la red a través de sistemas interconectados o se podría enviar a otros sistemas locales; a este principio se le puede llamar Energía Renovable Distribuida o *Distributed Renewable Energy* (DRE) (Vezzoli et al, 2018).

Sería deseable que la vivienda y el metasistema de barrios, colonias y delegaciones fuera de tipo antifrágil. Es decir que, ante un entorno variable e impredecible, por ejemplo una falla en las tuberías, inundaciones, falta de presión en las presas del Sistema Cutzamala por falta de lluvias, o escasez de agua debido al crecimiento de grandes construcciones inmobiliarias, el sistema usara esto en su beneficio para adaptarse. Sin embargo, hablar de un sistema antifrágil para la vivienda en la Ciudad de México puede sonar utópico. En realidad, lo ideal para este tipo de sistema sería que fuera un sistema auto-organizado con las tres características descritas anteriormente: adaptación, robustez y anticipación. La pregunta aquí sería ¿es posible diseñar un sistema de este tipo?

4 Solución de diseño y su representación gráfica

Como siguiente paso se propone la representación gráfica dentro del mapa de sistema de la solución de diseño propuesta. Se propone usar íconos gráficos para los productos de diseño para identificarlos como nuevos elementos dentro del mapa, y trazar con conectores visuales las retroalimentaciones que generan distinguiéndolas con colores dependiendo si son negativas, positivas o prealimentación. En cuanto a los servicios se propone hacer uso de los mismos conectores visuales. (Fig. 5)

A continuación, se describen los tres conceptos que se desarrollaron en el proyecto caso de estudio y que se identificarán más adelante en el mapa de sistema:

1 Aplicación (*app*) para visualizar y comparar el consumo promedio por habitante

Visualiza el consumo de agua, luz y gas promedio por habitante, comparando el gasto con el de otros usuarios. Se pensó también en un simulador de tecnologías

ahorradoras como celdas solares o sistemas de captación de agua de lluvia, en donde se pudiera calcular la inversión inicial y el ahorro a largo plazo a partir de su implementación, así como una sección para reportar problemas en servicios como fugas de agua.

2 Ecosistema de productos para la higiene personal y reaprovechamiento del agua residual en el baño

En este concepto se proponen elementos conectados que reciclan el agua como un subsistema, es decir el agua pasa de un elemento a otro (regadera, tanque de almacenamiento, lavadora, WC) por varios ciclos antes de ser desechada a la tubería como aguas negras. Este sistema se complementa con tecnologías ya existentes de captación de agua de lluvia, biodigestores y huertos urbanos. Finalmente se propone que estos elementos se conecten a la aplicación descrita en el punto 1 para visualizar el gasto por vivienda y en promedio por habitante.

3 Ecosistema de productos para la conservación, abastecimiento y producción de alimentos

Para este concepto se proponen los siguientes elementos: huertos urbanos que fomentan la auto-producción de ciertos alimentos, un nuevo tipo de refrigerador que maximiza el tiempo de conservación y un compostador que después se conecta a una composta comunitaria, además de una plataforma digital (*app*) que permite que distintos usuarios puedan vender o intercambiar sus productos.

La figura 3 muestra la nueva propuesta del sistema en comparación con el sistema actual o tradicional, ejemplificando lo descrito anteriormente. Con esta herramienta se pueden visualizar de una forma más tangible los cambios y beneficios planteados.

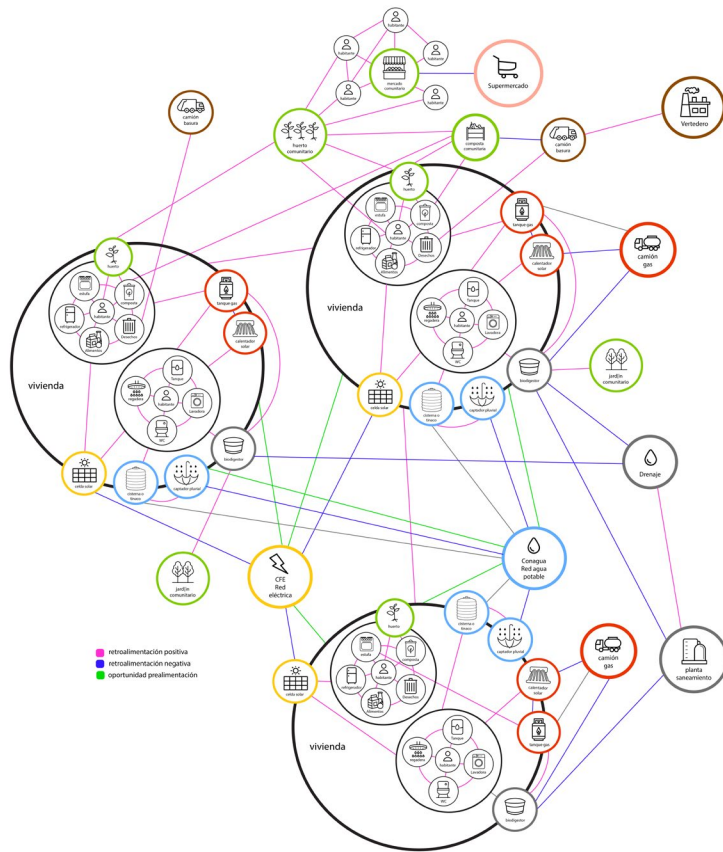


Figura 5

Diagrama de sistema en donde se muestran las posibles interacciones para analizar el impacto de implementación de sistemas de productos y servicios. **Fuente** | elaboración propia con íconos de www.thenounproject.com

5 Comparación de las ventajas de la solución de diseño a nivel sistémico, a través del mapa de sistema generado

Si analizamos el modelo en cuanto a la estructura del sistema, vemos que a nivel micro se proponen nuevos productos de diseño enfocados específicamente al ahorro de recursos y cambio de hábitos. A nivel meso, estos productos se conectan y comunican entre sí, compartiendo recursos e información. Finalmente, a nivel macro encontramos Sistemas de Productos y Servicios Sostenibles, a través de los cuales se crean también nuevas comunidades de usuarios.

Si analizamos los cambios en la dinámica del sistema, vemos que se generan nuevas retroalimentaciones negativas entre las viviendas y los proveedores de servicios; esto se refiere a que, si la vivienda capta recursos por sus propios medios, requerirá menos suministro de servicios externos. Por otro lado, la vivienda envía menos desechos a los proveedores de servicios a través del uso de biodigestores y la implementación de compostas comunitarias, que a su vez sirven como abono para jardines y huertos comunitarios.

Al poder comparar el consumo por persona entre las viviendas, surgen retroalimentaciones positivas que pueden promover el cambio de hábitos, así como fomentar el compartir recursos. Se generan comunidades de usuarios para adoptar nuevas prácticas sostenibles a través de huertos y mercados comunitarios conectados a plataformas digitales.

A través de la aplicación digital descrita anteriormente, encontramos nuevas oportunidades de prealimentación: el proveedor de servicios puede avisar al usuario antes del cierre del mes que su consumo es más elevado respecto a meses anteriores. A su vez puede registrar los horarios y zonas de mayor y menor consumo y puede ser alertado por los usuarios en caso de que haya fugas o problemas de abastecimiento en ciertas áreas para poder tomar medidas al respecto.

En cuanto al tipo del sistema, vemos que este se vuelve más robusto a partir de la retroalimentación negativa entre servicios y viviendas. Al descentralizar o distribuir los servicios se obtienen ventajas en el sistema, permitiéndole adaptarse a cambios imprevistos. El principio de sistemas distribuidos puede aplicarse no solo a la generación de energía sino también a la administración del agua y producción de alimentos, entre otros, a través del esquema de la Economía Distribuida o *Distributed Economy* (DE) (Vezzoli y Basbolat, 2018). A partir de las modificaciones de diseño el sistema se acerca más a los principios de adaptación, robustez y anticipación descritos anteriormente.

Resultados alcanzados

En cuanto al método gráfico propuesto, los resultados muestran que es una herramienta útil para visualizar y analizar la escala de un sistema existente, así como las dinámicas y sus características frente a cambios externos. A partir de aquí se lograron comparar los cambios en el sistema después de una intervención de diseño. Las propuestas de Sistemas de Productos y Servicios descritas anteriormente buscan solucionar algunas de las problemáticas detectadas a través de

los siguientes principios basados en el pensamiento sistémico, que se presentan en el orden de complejidad necesario para lograrlo:

1 Generar nuevas interacciones

Las soluciones promueven nuevas interacciones que antes no existían entre los diferentes electrodomésticos o productos, logrando ciclos internos de aprovechamiento de recursos y envío de información.

2 Fomentar el tipo de retroalimentación pertinente

En este caso de estudio se busca reforzar la retroalimentación positiva en cuanto a la reducción de consumo, a través de la comparación visible del gasto en recursos con otros usuarios. Por otro lado, se fomenta la retroalimentación negativa en cuanto a minimizar la dependencia de servicios externos a través de la generación de recursos propios.

3 Detectar oportunidades de prealimentación

Se exploraron nuevas oportunidades de prealimentación entre los proveedores de servicios y los usuarios, a fin de mejorar el servicio y promover el ahorro.

4 Aumentar la robustez y adaptación del sistema

A través de nuevos Sistemas de Productos y Servicios, producción propia y comunidades de usuarios, se diversifican los medios con los cuales la vivienda puede captar recursos, mejorando la robustez y adaptación del sistema ante cambios externos.

5 Mejorar la anticipación del sistema

A través del monitoreo constante y los reportes en tiempo real de usuarios, el sistema puede prever dificultades y anticiparse a posibles fallas o aumento de consumo.

Este tipo de criterios para evaluar los resultados de un proyecto de diseño a nivel sistémico podría aplicarse a otros casos de estudio.

En la tabla 1 se realiza una comparación entre los sistemas y los cambios planteados.

Tabla 1. Diferencias en el planteamiento del sistema actual vs. el sistema con intervención de diseño.

	Sistema actual	Sistema con intervención de diseño
Escala	Productos y servicios aislados	Sistemas de productos y servicios interconectados
Retroalimentación positiva	Aumento de consumo genera más demanda de servicios	Comparación del gasto con otros usuarios Servicios compartidos, comunidades de usuarios
Retroalimentación negativa	Hábitos de consumo entre habitantes	Captación de recursos, menos demanda de servicios Reutilización de dehechos, menos demanda de servicios
Prealimentación		Aviso de aumento de gasto promedio antes de fin de mes Registro de horarios y zonas de mayor y menos consumo Reporte de fugas o problemas
Fragilidad	Sistemas centralizados	
Robustez		Sistemas distribuidos, descentralización
Adaptación		Descentralización y capacitación de recursos
Anticipación		Anticipación a fallas o aumento de consumo

Fuente | elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Se ha descrito un método a partir del pensamiento sistémico para generar una herramienta gráfica o mapa de sistema, que pueda ser aplicada en un proyecto específico. Este método está dirigido sobre todo a diseñadores industriales, ya que se ha mencionado la necesidad en el cambio de enfoque de diseño de objetos al de Sistemas de Productos y Servicios.

El método descrito es necesario para comprender mejor la escala, interacciones y tipo de sistema actual que se está estudiando, así como los cambios que implican nuevas propuestas de diseño a nivel sistémico. En el caso de estudio específico aquí descrito se analizó el consumo de recursos y cómo las nuevas propuestas generan un ahorro a través de nuevas interacciones que conllevan a mejorar la adaptación, anticipación y robustez dentro del sistema.

Una limitación de este estudio es que el método gráfico se aplicó una vez que ya se habían definido los conceptos de diseño, principalmente para visualizar sus ventajas. Sin embargo esta herramienta podría ser útil a lo largo de un proyecto

de diseño en distintas etapas. Un ejemplo sería usar este tipo de mapa como herramienta durante las entrevistas, presentándola a los usuarios para iniciar y generar una discusión acerca de las problemáticas más relevantes para ellos. En este sentido puede ser una herramienta que se puede usar durante la investigación de campo para indagar, similar a otros métodos visuales que se usan actualmente en diseño (Hanington y Martin, 2012).

Durante la etapa de generación de conceptos esta herramienta se podría haber aplicado durante los talleres multidisciplinarios que se llevaron a cabo. El desarrollo de soluciones para este tipo de problemáticas complejas se debe dar dentro de equipos multidisciplinarios, en donde el diseñador es un elemento clave que puede facilitar la comunicación e intercambio de ideas entre distintas disciplinas a través de métodos y visualizaciones que pueden ser comprendidos universalmente y fomentan la participación de todos los actores. La herramienta antes descrita es útil para estudiar una problemática compleja de forma visual, lo cual resulta valioso pues es una forma para comunicarse entre disciplinas.

Durante la etapa de diseño, como se ha mencionado en este artículo, esta herramienta es útil para evaluar distintos conceptos o propuestas con criterios de pensamiento sistémico. Sin embargo, aquí se ha descrito sólo una evaluación en términos generales cualitativos y no cuantitativos. Se podría generar una evaluación a través de un sistema de escalas o puntos, que podría ser complementario a otros métodos de evaluación de diseño (Hanington y Martin, 2012). Generar esta evaluación cuantitativa corresponde a una investigación futura.

Otra limitación de este estudio es que el mapa propuesto del sistema inicial es de tipo genérico, es decir se propone una vivienda promedio con todas las conexiones a los servicios de agua, drenaje, luz, gas y recolección de basura. Sin embargo, cada vivienda es un caso particular, por lo cual se deben modelar diferentes tipos de vivienda que se basen en los distintos casos posibles. Para ello sería indispensable tomar en cuenta la ubicación, densidad y ocupación de habitantes de la misma, lo cual se podría realizar basándose en estadística.

Por otro lado, el modelo gráfico se describe a nivel estático; sin embargo, como hemos planteado en la introducción, la dinámica de sistemas estudia los cambios a través del tiempo o variables cambiantes con modelos interactivos. Un modelo de este tipo se podría generar a través de programación y visualización en computadora, incluyendo aspectos como la hora del día y sobre todo las acciones de los usuarios en el tiempo.

La principal aportación de esta investigación es que este tipo de método puede ser una nueva herramienta para analizar, evaluar y comunicar soluciones de diseño a nivel sistémico y que puede ser replicado en otros proyectos de diseño de complejidad similar. Los diseñadores industriales tradicionalmente han pensado sus soluciones basándose en aspectos como la ergonomía, producción, función y estética; en los últimos años se han enfocado también a las soluciones de Sistemas de Productos y Servicios, pero pocas veces se piensa en términos sistémicos como se propone aquí, en donde se abordan aspectos como la adaptación, anticipación y robustez. Se espera que este método sea un aporte para profesionistas del diseño industrial y estudiantes que trabajen en proyectos con problemáticas complejas.

Financiamiento

Investigación realizada gracias al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IA401816

Referencias

- Anderson, P. W. (1972).** More Is Different. *Science*, 177(4047), 393–396. doi:10.1126/science.177.4047.393
- Åström, K. J., y Murray, R. M. (2008).** *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. New Jersey: Princeton University Press.
- Batty, M. (2008).** The Size, Scale and Shape of Cities. *Science* 319(5864), 769-771. doi: 10.1126/science.1151419
- Batty, M. (2013).** *The New Science of Cities*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. doi:10.7551/mitpress/9399.001.0001
- Bertalanffy, L. (1968).** *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.
- Bolaños Sánchez, A. (15 de marzo de 2019).** Buscan frenar daños al abasto de agua por constructoras. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2019/03/15/capital/029n3cap>
- Brown, T. (2008).** Design Thinking. *HBR BESTSELLER*. Boston, Massachusetts, EU: Harvard Business Publishing.
- Buchanan, R. (1992).** Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(2), 5. doi:10.2307/1511637
- Cannon (1929).** Organization For Physiological Homeostasis. *Physiological Reviews*, 9(3), 399-431. doi:10.1152/physrev.1929.9.3.399
- Ceschin, F. y Gaziulusoy, I. (2016).** Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions, *Design Studies* 47, 118-163. doi:10.1016/j.destud.2016.09.002
- Da Costa Junior, J., Diehl, J., & Snelders, D. (2019).** A framework for a systems design approach to complex societal problems. *Design Science*, 5, E2. doi:10.1017/dsj.2018.16
- Farhangi, H. (2010).** The path of the smart grid, *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(11), 18-28. doi: 10.1109/MPE.2009.934876
- Flores, A. (6 de noviembre de 2018).** La emergencia por el corte de agua se extiende al sábado. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/2018/11/06/la-emergencia-por-el-corte-de-agua-se-extiende-al-sabado-9082.html>
- Forrester, J.W. (1968).** *Principles of Systems*. Cambridge, Massachusetts: Wright-Allen Press.
- Gershenson, C. (2005).** A General Methodology for Designing Self-Organizing Systems. *CoRR*, arXiv:nlin/0505009
- Gershenson, C. y Heylighen, F. (2005).** How can we think the complex? In Richardson, K. (Ed.). *Managing Organizational Complexity: Philosophy, Theory and Application*. Chapter 3. Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.
- Gómez, L. (15 de junio de 2018).** Uso político del agua genera su escasez: ombudsman. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2018/06/15/capital/033n2cap>
- González, R. (5 de diciembre de 2018).** Revertir el desabasto y reparar fugas de agua, retos del nuevo gobierno. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2018/12/05/capital/040n2cap>
- Hanington, B. y Martin, B. (2012).** *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions*. Beverly, MA: Rockport Publishers Inc.

- Hui, T. K. L., Sherratt, R. S., & Díaz-Sánchez, D. (2017).** Major requirements for building Smart Homes in Smart Cities based on Internet of Things technologies. *Future Generation Computer Systems*, 76, 358–369. doi:10.1016/j.future.2016.10.026
- IDEO (2015).** *The Field Guide to Human Centered Design*, Canada: IDEO.
- John, B., Luederitz, C., Lang, D. J., & von Wehrden, H. (2019).** Toward Sustainable Urban Metabolisms. From System Understanding to System Transformation, *Ecological Economics* 157, 402-414. doi:10.1016/j.ecolecon.2018.12.007.
- Jones P. (2014).** Systemic Design Principles for Complex Social Systems. En: Metcalf G. (eds.) *Social Systems and Design. Translational Systems Sciences*, vol 1. Tokio: Springer.
- Jones, P. & Bowes, J. (2017).** Rendering Systems Visible for Design: Synthesis Maps as Constructivist Design Narratives. *She Ji: The Journal of Design, Economics, and Innovation*, 3 (3), 229–248. doi:10.1016/j.sheji.2017.12.001
- Jones, P. y Kijima, K. (Eds.) (2018).** *Systemic Design*. Translational Systems Sciences Vol. 8. Tokio: Springer. doi:10.1007/978-4-431-55639-8
- Kennedy, C., Pincetl, S. y Bunje, P. (2011).** The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design, *Environmental Pollution* 159, (8–9), 1965-1973. doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022
- Kim, D. (1992).** Guidelines for Drawing Causal Loop Diagrams. *The Systems Thinker* 3(2), 5-6.
- Kirkwood, C. (1998).** *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Arizona, EU: Arizona State University. Recuperado de <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/SDIntro/ch-1.pdf>
- Liljenström, H. y Svedin, U. (2005).** *Micro Meso Macro: Addressing Complex Systems Couplings*. Singapur: World Scientific Publishing Company. doi:10.1142/5585
- Lindeman, R. (1942).** The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology* 23(4), 399-417. doi:10.2307/1930126
- Manzini E, y Vezzoli C. (Julio, 2002).** *Product-service systems and sustainability. Opportunities for sustainable solutions*. Work presented in United Nations Environment Programme, Division of Technology Industry and Economics, Production and Consumption Branch of CIR.IS Politecnico di Milano: Milan, Italia.
- Mattson, M. P. y Calabrese, E. J. (Eds.) (2010)** *Hormesis: A Revolution in Biology, Toxicology and Medicine*. New York: Springer. doi:10.1007/978-1-60761-495-1
- Maturana H. y Varela, F. (1973).** *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo*. (1º ed.). Santiago de Chile: Editorial Universitaria
- Nelson, H.G., y Stolterman, E. (2012).** *The Design Way: Intentional Change in an Unpredictable World*. (2ª ed.). Cambridge: MIT Press.
- Norman, D. y Draper, S. (1986).** *User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc.
- Pimm, S. L., Lawton, J. H., & Cohen, J. E. (1991).** Food web patterns and their consequences. *Nature*, 350(6320), 669-674. doi:10.1038/350669a0
- Raymond, M. (2010).** *The Trend Forecaster's Handbook*. (1º Ed.). London: Laurence King Publishing
- Scott, J. (1991).** *Social Network Analysis: A handbook*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Sevaldson, B. (Mayo de 2011).** Giga-mapping: Visualisation for complexity and systems thinking in design. Work presented in -Nordes '11- of the 4th Nordic Design Research Conference, Helsinki, Finland.

- Sevaldson, B. (Mayo de 2013).** Systems Oriented Design: The Emergence and Development of a Designerly Approach to Address Complexity. Work presented in DRS//CUMMULUS of 2nd International Conference for Design Education Researchers, Oslo, Norway.
- Sevaldson, B. (1 de Septiembre de 2015).** Gigamaps: their role as bridging artefacts and a new sense sharing model. In: *Relating Systems Thinking and Design 4* (RSD4) Symposium, Bansf, Canada. Recuperado de <http://openresearch.ocadu.ca/id/eprint/2049/>
- Shannon, C. & Weaver, W. (1949).** *The Mathematical Theory of Communication.* Urbana, Illinois: University of Illinois Press
- Simon, H. A. (1996).** *The Sciences of the Artificial.* Cambridge, Massachusetts: MIT Press
- Taleb, N. N. (2012).** *Antifragile: Things that gain from disorder.* USA: Penguin Random House Company.
- Vezzoli, C., Kohtala, C., Srinivasan, A., Xin, L., Fusakul, M., Sateesh, D., et al. (2014).** *Product-Service System Design for Sustainability* (LENS). UK: Greenleaf Publishing Limited.
- Vezzoli, C. y Basbolat, C. (24, Octubre, 2018).** Sustainable Product Service System Design applied to Distributed Economies: A New Sustainable System Design Approach. *Proceedings of Relating Systems Thinking and Design (RSD7) 2018 Symposium*, Turin, Italy.
- Vezzoli, C., Ceschin, F., Osanjo, L., M'Rithaa, M. K., Moalosi, R., Nakazibwe, V., et al. (2018).** *Designing Sustainable Energy for All. Sustainable Product-Service System Design Applied to Distributed Renewable Energy.* Suiza: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-70223-0
- Watts, J. (12 de noviembre de 2015).** Mexico City's water crisis – from source to sewer. *The Guardian*. Recuperado de <https://www.theguardian.com/cities/2015/nov/12/mexico-city-water-crisis-source-sewer>
- White, R., Engelen, G. y Uljee, I. (2015).** *Modeling Cities and Regions as Complex Systems.* Massachusetts: MIT Press.
- Wiener, N. (1948).** *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine.* (1º ed.). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Wolfram, M., Frantzeskaki, N. & Maschmeyer, S. (2016).** Cities, systems and sustainability: status and perspectives of research on urban transformations, *Current Opinion in Environmental Sustainability* 22,18-25, doi: 10.1016/j.cosust.2017.01.014.
- Zhang, Y. (2013).** Urban metabolism: A review of research methodologies, *Environmental Pollution* 178, 463-473. doi:10.1016/j.envpol.2013.03.052
- Créditos de íconos usados From the Noun Project con licencia CC BY 4.0:
 User by Joeart
 Fridge by Vectors Market
 Food by Atif Arshad
 Stove by Valter Bispo
 Trash by Nanda Ririz
 Monitor by Manop Leklai
 Shower by Mayene de La Cruz
 Toilet by Stepan Voevodin
 Solar cell by monkik
 Rainwater Harvesting by Kiran Joseph
 Plant by voneff
 Compost by Juraj Sedlák
 Compost Bin by Made
 Water Tank by Francielly Costantin Senra
 Garbage Truck by A. Stone
 market by Made
 Washing Machine by Icons Bazaar
 gas truck by David Gomez
 Gas by Smalllike
 Water Tank by Adam Zubin
 Electricity by Fantastic
 Water by clawa
 supermarket by Zaki Ahlansyah
 recycling plant by ProSymbols
 Water Plant by Vectors Market
 pet water tank by Maxicons
 trees by Made by Made
 Solar water heater by Markus
 Rabbit by Liane Kirschner
 Fox by Felix Brönnimann
 grass by Hamish
 Mouse by designer468