

## Estructuras adaptables

Ricardo Franco (\*)

Actas de Diseño (2012, Julio),  
Vol. 13, pp. 161-164. ISSN 1850-2032  
Fecha de recepción: febrero 2008  
Fecha de aceptación: febrero 2011  
Versión final: mayo 2012

**Resumen:** Este proyecto de investigación plantea que el hábitat arquitectónico actual se presenta en su mayoría rígido, estático e inmodificable haciendo casi imposible futuras transformaciones, así como cambios de forma y de espacio en el tiempo con fines adaptativos. El proyecto investigativo asevera que la adaptabilidad y capacidad de transformación es una necesidad de la sociedad misma, y que la arquitectura y el diseño actual deben dar respuesta a ésta necesidad de cambio. Es aquí donde aparecen los sistemas móviles (que incorporando el concepto de retroalimentación para su control y movimiento) se perfilan hoy como una de las formas más eficiente para producir respuestas adaptativas.

**Palabras clave:** Adaptabilidad arquitectónica - Flexibilidad - Sistemas móviles - Movilidad Estructural - Retroalimentación

[Resúmenes en inglés y portugués y currículum en p. 164]

### Introducción

¿Existe la necesidad de cuestionar la manera de proyectar la arquitectura contemporánea?

La sociedad contemporánea presenta una marcada tendencia hacia la funcionalidad, el cambio constante y la agilización de procesos. Así mismo, los temas globales son más vitales que nunca: la economía transcontinental, la comunicación de masas, los medios de comunicación globales, los avances tecnológicos, los factores políticos y ecológicos configuran la manera en cómo habitamos el mundo actualmente.

La arquitectura, producto del espíritu de una época, no puede estar exenta de estas directrices; sin embargo la construcción masiva actual se presenta en su mayoría inmodificable, haciendo muy costosa y casi imposible la continua readecuación de espacios y formas a las variantes necesidades del individuo, la sociedad y el mundo. Los seres humanos somos criaturas flexibles y adaptables, así nuestra arquitectura y ciudades demuestran lo contrario. Hace tiempo en que la existencia del hombre se basaba en la capacidad de movimiento y adaptación; de hecho, a estas condiciones debemos nuestra supervivencia como especie. En la actualidad, la mayoría de las culturas llevan una vida orientada hacia lo permanente y sedentario, pero las nuevas directrices dictaminan la flexibilidad y adaptabilidad como prioridad en el desarrollo humano, igualmente los cambios tecnológicos, sociales y económicos están exigiendo, o al menos incitando una nueva forma de existencia nómada basada en los mercados globales, la red y el transporte económico y rápido.

En este momento es imperante proyectar la arquitectura con un enfoque adaptable y flexible en la totalidad de nuestro entorno debido a diversos argumentos: el nuevo modelo de casa como lugar de trabajo, el cambio en el número de miembros que componen la familia y grupos, la sostenibilidad medioambiental y ecológica de la que penden la supervivencia de millares de personas en el mundo, la conveniencia de desplazarse diario a trabajo, los aspectos de una vida más plena y la posibilidad de trabajar a distancia gracias a la tecnología de las comuni-

caciones. La adaptabilidad y capacidad de transformación es una necesidad de la sociedad misma, la realidad del mundo así lo manifiesta diariamente, pero ¿cuáles son las características de una arquitectura enteramente adaptable a esta vida cambiante y a estos nuevos modelos de trabajo? No todos los medios son iguales y un medio no es igual todo el tiempo, no obstante la mayoría de las edificaciones hoy no contempla la opción de cambio como un criterio de diseño sobresaliente a la hora de planificar arquitectura. El hábitat arquitectónico actual se plantea rígido, estático e inmodificable haciendo casi imposible la modificación y cambio de formas y espacios con fines adaptativos. Es aquí donde aparece el concepto de Arquitectura Adaptable, el cual define al edificio como un sistema capaz de ser readecuado con dos fines principales: responder más eficientemente a las cambiantes necesidades de nuestra sociedad, permitiendo el libre desarrollo de actividades y personas; y la utilización más racional del espacio, de los recursos y materiales destinados a la construcción y funcionamiento de la arquitectura. Este proyecto pretende: aplicar las características de los sistemas móviles en la construcción y desarrollo de una arquitectura adaptable, apoyados en procesos mecánicos y cibernéticos, para satisfacer las necesidades del hombre actual, la sociedad y el mundo. Para desarrollar este objetivo general se trazaron objetivos arquitectónicos y objetivos técnicos-ingenieriles.

Los objetivos arquitectónicos son: definir las características básicas de los sistemas móviles y el concepto de adaptabilidad arquitectónica, esta labor nos permitió elaborar una matriz que reúne el estado del arte de los sistemas móviles con base en el tipo de articulación, el grado de libertad, la generación y control de movimiento. Y por ultimo precisar los sistemas móviles más eficientes para aplicarlos a la arquitectura y al diseño, generando una nueva arquitectura y una nueva forma de abordar y pensar el diseño, que incluye al movimiento y el cambio como premisas proyectuales.

Como objetivos técnicos-ingenieriles se plantearon: Realizar un análisis del comportamiento estructural de los sistemas móviles. Simular una estructura móvil, que se adapte mediante el proceso de retroalimentación,

realizando el análisis estructural en diversas posiciones de su desarrollo dinámico. Determinar el sistema de actuadores, simulando aplicación de fuerzas en diferentes secciones o cuerpos que componen la estructura y determinar la capacidad de carga de la estructura mediante el análisis estructural, consistente en conocer la rigidez del sistema mecánico en diferentes posiciones espaciales de las secciones compuestas.

### Metodología para el desarrollo constructivo de las aplicaciones de los sistemas móviles

Como premisa es importante entender que las posibles aplicaciones de los sistemas móviles se enmarcan dentro de dos grandes grupos clasificados así:

1. Los sistemas móviles aplicados como Sistemas Estructurales, construyendo en primera instancia matrices espaciales que tienden hacia el infinito dadas las tres posibilidades de agrupación (lineal, superficial y espacial), permitiendo en segunda instancia, la variación de las proporciones y medidas de un espacio interior, observando dos consecuencias fundamentales, la primera el cambio de la experiencia vital del habitante en el espacio (lo que permitiría a un mismo espacio, contener diversas actividades) y el cambio de la imagen exterior del sistema (generando un cambio de carácter, en términos arquitectónicos).

2. Los sistemas móviles aplicados como Sistemas no Estructurales, aplicándose a cuatro grandes funciones arquitectónicas, así:

a. **Envolver:** Sistemas móviles aplicados a la piel arquitectónica, sistemas que podemos denominar pieles móviles o pieles adaptables. La aplicación de estos sistemas en la Arquitectura tiene repercusiones directas sobre tres condiciones fundamentales de un espacio interior: variación en los grados de iluminación, de apertura y de ventilación; la aplicación eficiente y correcta de un sistema podría generar simultáneamente estas tres variaciones alterando completamente las condiciones lumínicas, sonoras, espaciales y formales de un espacio interior.

b. **Dividir:** Sistemas móviles aplicados a las divisiones del espacio interior, generando gran facilidad para aumentar o reducir espacios según las necesidades habitacionales que así lo exijan.

c. **Cubrir,** Sistemas móviles aplicados a cubiertas móviles, cielo rasos desplegados. La aplicación de estos sistemas tienen consecuencias sobre tres condiciones fundamentales de un espacio interior: variación en los grados de iluminación, de apertura y de ventilación; la aplicación eficiente y correcta de un sistema podría generar simultáneamente estas tres variaciones alterando completamente las condiciones: lumínicas, sonoras, espaciales y formales de un espacio interior.

d. **Sostener,** Sistemas móviles aplicados a placas de entrepiso desplegadas, columnas móviles, muros por-

tantes plegables. La aplicación de estos sistemas en la construcción y ejecución de la Arquitectura tiene tres ventajas: Facilidad en la construcción, ya que todo el sistema viene listo solo se pliega para su montaje, por lo tanto menores tiempo en la construcción y montaje, y a su vez la posibilidad de reciclar toda la estructura

La metodología para el desarrollo de aplicaciones de sistemas móviles, se plateo basada en el desarrollo constructivo de secciones, uniones, articulaciones a escala (modelos y maquetas) y aplicaciones de los sistemas móviles en situaciones reales, a partir de modelos tridimensionales elaborados en escala real, sobre plataformas gráficas de última generación, permitiendo su materialización a través de tecnologías como el CAD CAM, sobre materiales como el acero, el aluminio, madera y el bronce. Esta metodología se compone de tres fases fundamentales para el desarrollo constructivo de un sistema adaptable, así:

Primera fase *Desarrollo del módulo básico*, entendido como el desarrollo de una unidad de construcción, a repetir, lo que permite la racionalización de la construcción y por su puesto la economía en costos, materiales, producción y montaje. Es necesaria la construcción de modelos y maquetas a escala que luego se reproducen en plataformas gráficas de modelado en 3d en escala real, permitiendo la evaluación de proporciones, volúmenes de material, densidades y por ultimo peso.

Segunda fase *Desarrollo del patrón*, entendido como la repetición del módulo básico, primero en una dirección, es decir una agrupación lineal del modulo básico componente del sistema, luego en dos direcciones, es decir una agrupación superficial y finalmente, la repetición del modulo básico, en tres direcciones, es decir una agrupación espacial, durante el desarrollo de estas tres agrupaciones existe un proceso de fundamental importancia que es determinante para el éxito y el correcto funcionamiento de cada agrupación, el desarrollo adecuado de la articulación, es la pieza fundamental que permite el movimiento, a la vez que liga las piezas estructural del sistema, según sea el tipo de agrupación (en una dirección, en dos direcciones o en tres direcciones). Este proceso permite verificar el potencial del módulo en cuanto a la matriz de espacios generados, así como su estabilidad estructural en los diferentes estadios del movimiento.

Tercera fase *Desarrollo de aplicación*, es el paso a la realidad, comienza al definir la escala de aplicación comprendida dentro de una de estas tres escalas: estructuras micro (mobiliario), estructuras meso (escala habitable) y estructuras macro (grandes luces), permitiendo proporcionar y dimensionar, los elementos componentes del sistema constructivo determinado en las dos primeras fases, con relación a la escogencia de un material, que por sus propiedades físicas y mecánicas cumpla con los requerimientos del sistema.

Cabe mencionar que los sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos usados en la actualidad como medios para la automatización, tienen cabida a la hora del desarrollo de las aplicaciones a toda escala. Sus dimensiones y diversos requerimientos son determinantes para la resolución final de toda aplicación y tienen incidencia directa sobre los costos de cada sistema.

Desde la perspectiva de la ingeniería civil las estructuras están en reposo. Los puentes, edificios y cubiertas en general se espera que se mantengan en su posición original y mantengan su forma. Aún, el análisis dinámico utilizado para analizar estructuras bajo fuerzas sísmicas y de viento supone que las deformaciones son pequeñas y que la estructura mantiene su forma. En consecuencia los métodos de análisis corrientes parten de supuestos como deformaciones pequeñas e invariabilidad de la forma. Las estructuras móviles por el contrario, como las seleccionadas para la experimentación, no solo sufren grandes desplazamientos y cambios de forma sino que en muchos casos son estáticamente inestables durante la fase de plegamiento, por lo cual los métodos corrientes de análisis estructural, incluyendo los métodos matriciales y de elementos finitos no se pueden aplicar directamente. Se debe entonces acudir a consideraciones especiales para usar los métodos de análisis estructural corrientes en el análisis de sistemas móviles, como los desarrollados por investigadores como Gantes y se evalúa su aplicabilidad a los sistemas móviles aquí planteados.

Aparte de estas consideraciones hay que estudiar las relacionadas con los elementos actuadores, dado que de acuerdo a la estructura, capacidad, resistencia distintos elementos de acción se pueden usar; también se deben considerar los transductores de posición, fuerza o deformación que permiten realizar la retroalimentación. El primer paso, consiste en realizar un modelado de las estructuras para poder simularlas y evaluar la dinámica del despliegue de la estructura. Todo esto se hace con el fin de establecer las mejoras estructuras, no solo desde el punto de vista arquitectónico sino desde el ingenieril, que en conjunto posibilitan que el diseño a implementar sea el más adecuado. Para llegar a esta respuesta se realizan dos tipos de simulaciones: El análisis estructural a nivel estático, donde se involucran factores tales como capacidad, demanda, reacciones, deformaciones y fuerzas internas; y su comportamiento dinámico debido a una fuerza aplicada en un punto determinado. Conocer el comportamiento dinámico de la estructura, es crítico para la selección de materiales, actuadores especificaciones de los mismos y los controles que se mejor se adaptan a la estructura. Como resultado de la aplicación de esta metodología, se enuncian las siguientes conclusiones:

1. Todo sistema móvil, debe partir de un punto fijo. Este punto estático le sirve como apoyo estructural y es el punto desde donde se aplica la fuerza que genera el movimiento.
2. A toda pieza móvil corresponde una articulación. La unión o articulación garantiza a toda pieza móvil su interacción correcta con las demás piezas del sistema.
3. Todo movimiento del sistema debe ser guiado. Las guías aseguran la precisión del movimiento del sistema móvil preservándolo de posibles desgates y bloqueamientos.
4. Para las aplicaciones arquitectónicas solo hay dos tipos de movimiento, rotación y deslizamiento.
5. Todo movimiento tridimensional, se garantiza a través de ejes constructivos coplanares.
6. Cuando se resuelve una articulación se resuelve todo un sistema.

7. El movimiento aplicado a un sistema estructural, genera cambios de proporción en el espacio interior.

8. El movimiento aplicado a un sistema no estructural, genera cambios en las condiciones de un espacio interior.

## Hipótesis

La inclusión de la retroalimentación en la arquitectura, puede generar una arquitectura adaptable.

La retroalimentación implica un intercambio de información, una interacción constante entre el objeto proyectado y su medio, y una evaluación permanente de resultados para generar procesos. Bajo este concepto puede entenderse la propuesta adaptativa como resultado de adquirir información y procesarla inteligentemente para producir una solución<sup>1</sup>.

Este concepto entendido desde la arquitectura y el diseño implica la toma de información del exterior o interior, para generar actuaciones eficientes en la generación de procesos adaptables. En este proceso participan mecanismos de control que transforman la estructura para reacomodar el espacio, la piel y los objetos. Para llevar a cabo una arquitectura verdaderamente adaptable debemos recurrir a procesos de retroalimentación para que la estructura cambie con su medio circundante, sólo entonces podremos observar como la edificación se funde con su entorno, aspirando a la armonía, generando una nueva forma de vivir, sentir la arquitectura y de relacionarse con los objetos.

## Resultados alcanzados

1. La construcción de una matriz que clasifica más de 20 sistemas móviles y que incluye todo el trabajo exploratorio de 3 sistemas móviles propuesto por el Grupo de Investigación Estructuras Adaptables (GEA), con aplicaciones a la Arquitectura y el Diseño.
2. La ponencia del proyecto de investigación en un evento Internacional de Diseño como fue el Segundo Encuentro Latinoamericano de Diseño, Universidad de Palermo, Buenos Aires.
3. La producción de un artículo científico para ser publicado en una revista o libro académico -profesional.
4. La ponencia en un evento nacional de ingeniería: el día Matlab en la Universidad Autónoma de Colombia, donde se expusieron los resultados de los análisis técnicos, mecánicos y estructurales de estas estructuras adaptables por parte de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
5. La producción de una estructura adaptable a diferentes condiciones espaciales, con la inclusión de mecanismos de control suministrados por Festo (empresa privada alemana y de alta tecnología interesada en participar activamente en este tipo de proyectos de investigación).
6. La producción de una página Web que comunica los resultados obtenidos por el proyecto de investigación, así como la exploración formal y espacial de los diversos sistemas estudiados hasta la fecha. Colgada en el espacio

virtual de la Dirección de Investigaciones y del Programa de Arquitectura de Interiores, Universidad Jorge Tadeo Lozano. ([www.utadeo.edu.co/gea](http://www.utadeo.edu.co/gea))

7. Las simulaciones de dichas estructuras, entregan resultados que nos muestran la complejidad que presentan dichos elementos al adquirir movilidad. Se hacen hallazgos sobre la diversidad de posibilidades que hay para crear un modelo adecuado, estudiando variables como el área, la longitud, el tipo de material, la fuerza aplicada y el punto de aplicación de la misma. Así se puede tener una visión de lo que posiblemente podría ocurrir en el modelo real y así poder crear un modelo óptimo desde los puntos de vista ingenieril y arquitectónico.

#### Notas

1. Franco Ricardo, Torres Leonel. *Estructuras Adaptables*. Editorial Universidad Nacional Colombia, Facultad de Artes. Bogotá 2006.

Nota Comité Editorial: Este artículo ha sido modificado (se han eliminado imágenes y gráficos) para su publicación en esta edición Actas de Diseño, debido al espacio y formato de la misma.

#### Referencias bibliográficas

- Calatrava Santiago, Félix Candela, Emilio Pérez, Félix Escrig. Juan Pérez Valcárcel. *Arquitectura Transformable*. Publicación de la Escuela Superior de Arquitectura de Sevilla, España 1993.
- Franco Ricardo. Torres, Leonel. *Estructuras Adaptables*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Bogotá 2006.
- Otto, Frei. *Seminario Internacional de Arquitectura Adaptable*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona 1974.
- Kronenburg Robert. *Flexible*. Editorial Blume, Barcelona 2007.
- Gantes C. J., *Deployable Structures: Analysis and Design*. National Technical University of Athens, Greece 2001.

#### Participantes

Por parte de la Universidad Jorge Tadeo Lozano:

Investigador Principal: Ricardo Franco, Arquitecto (Universidad Nacional).

Co-Investigador: Pablo Insuasty, Arquitecto (Universidad Nacional).

Auxiliar de Investigación: Cesar Cortés, Arquitecto (Universidad Nacional).

Auxiliar de Investigación: Miguel Hincapié, Arquitecto (Universidad Nacional).

Por parte de la Escuela Colombiana de Ingeniería:

Co-Investigador: Pedro Nel Quiroga, Ingeniero Civil.

Co-Investigador: Enrique Estupiñán, Ingeniero Electrónico.

Auxiliar de Investigación: Mauricio Parra, Ingeniero Electrónico.

Auxiliar de Investigación: Jasón Camargo, Ingeniero Electrónico.

Auxiliar de Investigación: Héctor Pérez, Ingeniero Civil.

**Abstract:** This project of investigation rises that the architectural current habitat appears in the main rigidly, static and unmodifiable making future transformations almost impossible, as well as changes of form and of space in the time with adaptative ends. The investigative project affirms that the adaptability and capacity of transformation is a need of the society itself, and that the architecture and the current design must give response to this one need of change. It is here where they appear the mobile systems (that incorporating the concept of feedback for his control and movement) are outlined today as one of the forms more efficient to produce adaptative answers.

**Key words:** Architectonic Adaptability - Flexibility - Mobile Systems - Structural mobility - Feedback

**Resumo:** Esse projeto de investigação expõe que o habitat arquitetônico atual é apresentado, em geral, rígido, estático e imodificável, fazendo quase impossível futuras transformações, assim como mudanças de forma e de espaço no tempo, com fins de adaptação. O projeto de pesquisa afirma que a adaptabilidade e a capacidade de transformação é uma necessidade da própria sociedade, e que a arquitetura e o design devem dar resposta a essa necessidade de mudança. É aqui que aparecem os sistemas móveis, (que acrescentando o conceito de retroalimentação para seu controle e movimento, constituem hoje uma das formas mais eficientes na geração de respostas adaptativas).

**Palavras chave:** Adaptabilidade arquitetônica - Flexibilidade - Sistemas móveis - Mobilidade Estrutural - Retroalimentação

(\* **Ricardo Franco**, Arquitecto. Investigador principal del Grupo de Investigación del Proyecto: Estructuras Adaptables GEA. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Colombia

(\*\*) El presente escrito fue presentado como conferencia dentro del Segundo Encuentro Latinoamericano de Diseño (2007). Facultad de Diseño y Comunicación, Universidad de Palermo, Buenos Aires, Argentina. Resumen publicado en: Actas de Diseño (2008, Marzo). Buenos Aires: Facultad de Diseño y Comunicación de la Universidad de Palermo, Vol. 4, pp. 100 - 101