

**Título del proyecto:**

*Estructuras adaptables a partir de procesos mecánicos y cibernéticos.*

**Objetivo general:**

***Aplicar las características de los sistemas móviles en la generación y construcción de una Arquitectura Adaptable, apoyados en procesos mecánicos y cibernéticos.***

**Objetivos específicos:**

1. Establecer los principios básicos que definen la adaptabilidad arquitectónica
2. Definir los principios de los sistemas móviles para aplicarlos a la arquitectura
3. Elaborar el estado del arte de los sistemas móviles con base en el tipo de articulación, el grado de libertad, y el tipo de movimiento.
4. Proponer aplicaciones arquitectónicas a partir de sistemas móviles según el tipo de articulación, el grado de libertad, el tipo de movimiento y las posibilidades de agrupación.
5. Diseñar y construir 5 prototipos de prueba de sistemas móviles: Articulación en los Extremos (Santiago Calatrava), Articulación Intermedia (Tijeras Rectas, Círculos y Óvalos Móviles) y Superficies deslizables; para el proceso de experimentación.
6. Construir y simular una estructura móvil, adaptable a diferentes condiciones espaciales.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

**Introducción:**

Este proyecto es la segunda fase de la investigación en estructuras móviles, denominada: ***Estructuras adaptables***<sup>1</sup>. La segunda etapa pretende aplicar y construir los resultados alcanzados durante la primera fase, apoyándonos en conceptos cibernéticos como la retroalimentación, en la ingeniería mecánica y electrónica para realizar una arquitectura adaptable, de acuerdo al espíritu de nuestro tiempo y nuestro lugar. La arquitectura adaptable es simple, se construye con materiales naturales y está en armonía con su entorno y con las personas que van a habitarla.

Unas de las conclusiones más concluyentes de la primera etapa de esta investigación fueron:

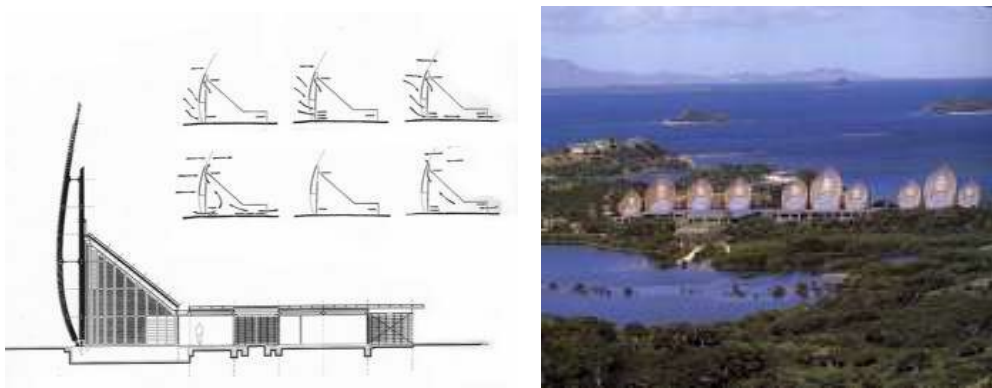
---

<sup>1</sup> FRANCO Ricardo, TORRES Leonel, ***Estructuras Adaptables***. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 2006.

- a) Que los organismos más aptos al cambio, son los de mayor grado de adaptabilidad.
- b) Que es el cambio el que faculta la adaptabilidad y que las estructuras móviles son unas excelentes posibilitadoras de procesos adaptables.

Para llevar a cabo una arquitectura adaptable debemos recurrir a procesos de retroalimentación para que la estructura cambie con su medio, sólo entonces podremos observar como la edificación se funde con su entorno, aspirando a la armonía, generando una nueva forma de vivir y sentir la arquitectura.

Si bien el proyecto no se plantea innovador a nivel mundial, sí es innovador a nivel nacional (universitario e industrial). A nivel mundial se han gestado propuestas de cubiertas y fachadas móviles capaces de responder a las cambiantes condiciones atmosféricas, un ejemplo de estas estructuras se da en el centro cultural Jean Marie Tjibaou del arquitecto Renzo Piano, donde las fachadas (pieles) se plantean como mecanismos capaces de responder ante las variantes condiciones atmosféricas como el viento y el sol, permitiendo además del control climático de los recintos, interactuando con el medio para sacar mayor ventaja de los agentes naturales como fuentes alternas generadoras de energía.



<sup>2</sup>**Centro Cultural Jean Marie Tjibaou.**  
**Arq. Renzo Piano- Nueva Caledonia 1991-1996.**

La fachada constituida por una doble piel en madera y vidrio genera un túnel aerodinámico capaz de producir circulaciones internas de aire sin recurrir a sistemas mecánicos de aire acondicionado. La piel exterior compuesta por persianas de madera regula la cantidad de aire que entra al sistema.

Otro ejemplo de estructuras adaptables que hacen uso de elementos de retroalimentación fue el pabellón de Venezuela para la Expo-2000, la cual fue una inmensa flor mutante que tenía la particularidad de abrirse y cerrarse de acuerdo al clima.

---

<sup>2</sup> PIANO, Renzo. *Arquitecturas Sostenibles*. España, Editorial Gustavo Gili. 1998

Esta gran estructura circular tenía en su centro la circulación por una escalera circundante, alrededor de un mástil de estructura tubular que soportaba una flor de 16 pétalos blancos y violetas de tela plastificada, que tenía la particularidad de abrirse y cerrarse de acuerdo al clima: al sol, el viento, o la lluvia, conformando un gran nicho ecológico.



### <sup>3</sup>*Pabellón venezolano en la Expo 2000.*

**Arq. Frei Otto**

Arquitectura adaptable a las condiciones ambientales mediante el movimiento de apertura o cierre de los pétalos individuales de la cubierta. Iluminación natural a través de una membrana translúcida. Ventilación y refrigeración por el efecto convectivo del aire que circula a través de jardineras escalonadas. Construcción desmontable ligera con materiales recuperables sin producción de residuos.

La innovación que se plantea en esta investigación es la generación, construcción y puesta en marcha de este tipo de tecnología en el país, desarrollando una tecnología y estética propia para nuestro contexto.

## **Marco teórico y estado del arte**

La sociedad contemporánea presenta una marcada tendencia hacia **la funcionalidad, el cambio constante y la agilización de procesos**; 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 y la sociedad.

---

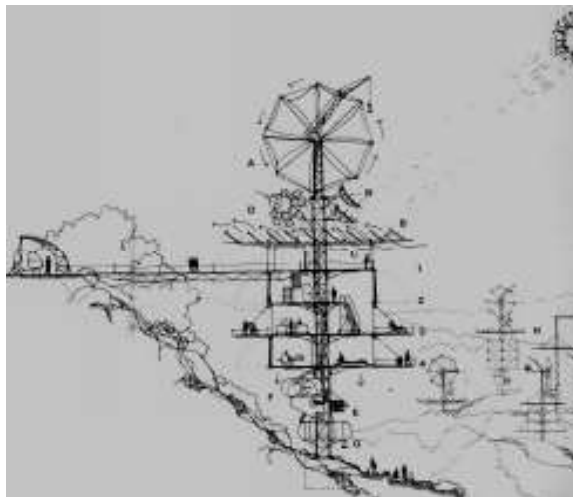
<sup>3</sup> [www.venuemedia.com](http://www.venuemedia.com)

La adaptabilidad y capacidad de transformación es una necesidad de la sociedad misma, la realidad del mundo así lo manifiesta diariamente.

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.

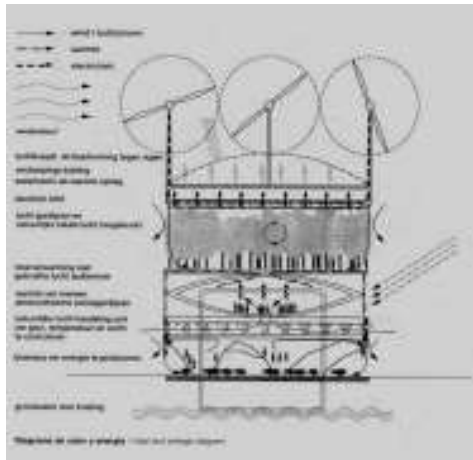
A continuación se hace referencia a dos ejemplos que aplican este concepto de Arquitectura Adaptable, que tienen la opción de mutación como criterio esencial en el diseño y la utilización de sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos en procura de minimizar el gasto energético y hacer uso de fuentes alternas de energía.



<sup>4</sup>***Proyecto de investigación de una casa Autónoma. Arq. Rogers Patscenter.*** Este proyecto plantea que el control climático y ambiental de los recintos por medio de procesos de retro-alimentación permitirá aprovechar opcionalmente las condiciones atmosféricas para la producción de energías alternas no contaminantes, como la eólica y solar.

---

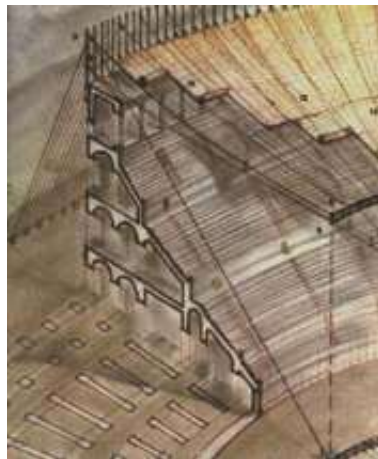
<sup>4</sup> Rogers (2001)- Ciudades para un pequeño Planeta.



**Pabellón de Holanda para Expo Hannover 2000. Arq. Maas VanRijs de Vries-** Alemania 1997-2000. Este pabellón introduce elementos mecánicos y ecológicos, que aprovechando las características de un ecosistema retroalimenta energéticamente el proyecto, sin que éste tenga que recurrir a los sistemas tradicionales de abastecimiento de servicios.

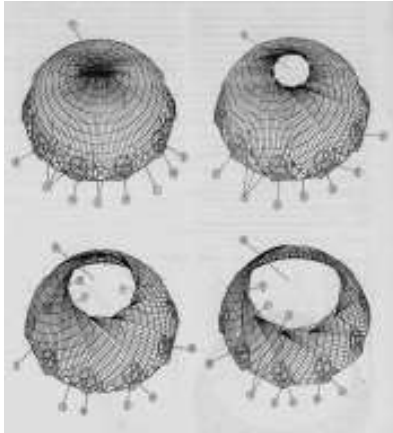
***Antecedentes y referencias de la adaptabilidad arquitectónica a partir de la movilidad estructural***

El primer antecedente que se tiene en estructuras móviles adaptables es el **Velum** o **Velarium**, textil usado como cubrimiento móvil de grandes espacios. Su fin primordial era regular las condiciones ambientales de recintos.



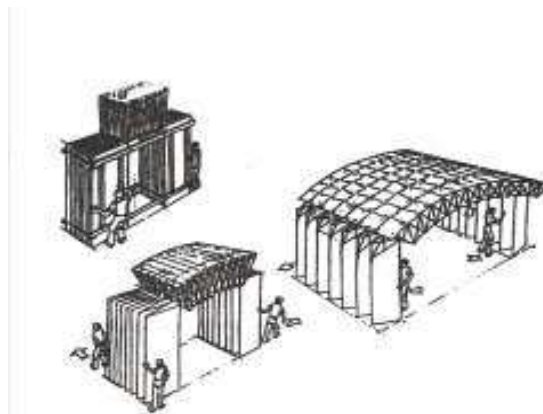
El anfiteatro de Pompeya y el Coliseo Romano, entre otros estaban provistos de **Velum**, y su procedimiento constructivo y de despliegue está consignado en los escritos Vitruvianos como uno de los primeros sistemas móviles de funcionamiento mecánico.

En el siglo pasado se llevaron a cabo diversas investigaciones en el tema de movilidad estructural, podemos enumerar a **Emilio Pérez Piñeros** arquitecto español pionero en este campo. En 1961 presenta en Londres su **teatro ambulante**.



<sup>5</sup>**Teatro ambulante**, conformado por una estructura cúpular reticular plegable.

En 1964 proyecta, construye e instala el pabellón transportable de exposiciones en Madrid, con una superficie de 800m<sup>2</sup>. Los planteamientos de Piñeros basados en los principios móviles de tijeras rectas son retomados y desarrollados por **Félix Escrig Pallares**, y se constituyen como uno de los sistemas estructurales móviles de mayor versatilidad y posibilidad de aplicación. Pallares llega a la formulación de principios para la conformación de mallas planas, cilíndricas y esféricas.

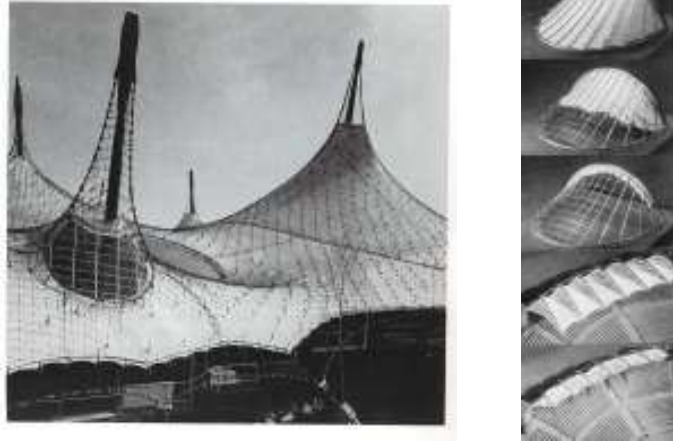


<sup>6</sup> **Sala de exposiciones en la plaza de ayuntamiento de Almería**

---

<sup>5</sup> Y <sup>9</sup> Gráficas tomadas del libro *Arquitectura Transformable* de: Santiago Calatrava, Félix Candela, Emilio Pérez, Félix Escrig. Juan Pérez Valcárcel. Publicación de la escuela Superior de Arquitectura de Sevilla, España. 1993.

El aporte más significativo del alemán **Frei Otto** a la arquitectura del siglo pasado es el desarrollo teórico y tecnológico que efectúa de los *sistemas estructurales tensionados*, presentes a lo largo de la historia de la arquitectura humana. Basado en estos sistemas estructurales tensionados y el análisis de sistemas naturales de superficies mínimas (telarañas y pompas de jabón) desarrolla los **sistemas izados de membranas**; constituidos por membranas sujetas a mecanismos de poleas y cables. El sistema requiere de estructuras rígidas que soporten los componentes móviles.



<sup>7</sup>*Pabellón Alemán de la Expo Universal de Montreal 1967,*  
y algunos ejemplos de cubiertas desplegables.

Actualmente en el mundo **Santiago Calatrava** arquitecto español introduce al tema de estructuras adaptables, la movilidad como efecto estético y visual generando su propio estilo. Su trabajo está basado en metáforas de animales y constituye una obra sobresaliente, sin embargo sus propuestas no superan una imitación plástica del movimiento natural, sin proponer soluciones mecánicas análogas con la forma real de su producción de movimiento. Su otro aporte a la arquitectura móvil lo constituye su investigación **“Sobre la plegabilidad de entramados”**.

---

<sup>7</sup> Imágenes tomadas del libro: ROLAND, Conrad. Frei Otto. Estructuras. Barcelona Editorial Gustavo Gili. 1970.





***Pabellón de Kuwait- ExpoSevilla 92. Arq. Santiago Calatrava 1991***

Este pabellón presenta un conjunto de 17 elementos en madera de 25m de longitud cada uno movilizables individualmente por gatos hidráulicos, que recuerda formalmente las costillas de un ser humano. El conjunto se pliega durante el día para generar un espacio sombreado y en la noche se abre para la proyección de audio-visuales.

***Sergio Pellegrino*** desarrolla en su *Instituto de Estructuras Desplegables, de la Universidad de Cambridge* toda una gama de investigaciones relacionadas con el tema: ***movilizadores estructurales, estructuras móviles de bajo peso, métodos computarizados de análisis de estructuras y mecanismos dinámicos.*** Pellegrino diseña actualmente sistemas dinámicos aplicados en la industria espacial.



***En sistemas estructurales arquitectónicos,*** Pellegrino estudia actualmente la plegabilidad de estructuras tipo tensegrity, desarrollados por Fuller, la generación de mecanismos móviles basados en el movimiento de flores y hojas y la investigación de secciones en elementos portantes en estructuras transportables



Paralelamente **Chuck Hoberman** conforma la *Asociación Hoberman* destinada al desarrollo de estructuras móviles para aplicaciones escultóricas y arquitectónicas. En el trabajo desarrollado por Hoberman se distinguen tres clases de superficies estructurales móviles, basadas en los principios **de los sistemas tipo tijera:**

**Esferas:** El principio móvil se basa en una serie de *tijeras anguladas* movilizadas por tensores unidos a unos motores computarizados que controlan la velocidad y la dirección del movimiento.

**Superficies Mínimas:** Las constituyen superficies que abarcan la mayor continuidad de volumen o área a través del menor gasto energético y de material.

**Domos:** El sistema también lo conforman *tijeras anguladas* y su movimiento se asemeja al iris del ojo humano. Su movimiento es controlado enteramente por computador.



<sup>8</sup>**Arco Hoberman.**

**Juegos Olímpicos de Invierno- Salt Lake, City, 2002.**

La estructura funciona bajo los principios móviles de los sistemas tipo tijera, y esta construida en aluminio y poli carbonato reforzado. Los elementos móviles pesan alrededor de 15,000 libras, y se pliegan gracias a la acción de 8 cables radiados movilizadas por un motor de 30 caballos de fuerza. El arco rígido que sirve de soporte al conjunto dinámico pesa cerca de 16000 libras y contiene sistemas de rieles que permiten el deslizamiento de las articulaciones.

En Colombia desde hace unos años se ha iniciado el estudio y la investigación de este tipo de estructuras a nivel de trabajo de grado en diferentes universidades, destacándose la Universidad. Nacional. Creemos que el paso siguiente es un acercamiento constructivo y de diseño que permita explorar la aplicabilidad de este tipo de estructuras en la solución de necesidades más específicas como: **estructuras de emergencia, pabellones, arquitecturas itinerantes como: ferias y ventas ambulantes, fachadas, cubiertas, paneles móviles, y arquitectura espectáculo.**

---

<sup>8</sup> Imágenes tomadas de la página: [www.hoberman.com](http://www.hoberman.com)

Los aportes que se tienen con base en el libro **“Estructuras adaptables”**<sup>9</sup> como fundamento nodal de la propuesta investigativa se resumen en cinco puntos:

- Base bibliográfica y conceptual.
- Definición de la Adaptabilidad Arquitectónica, así como sus características, clases y un acercamiento histórico de ésta.
- Una clara identificación y muestra de las diversas maneras de movilizar una estructura. Se enumeran a continuación los diferentes tipos de estructuras que se encuentran descritas en esta tesis: tijeras rectas, tijeras anguladas, tijeras con angulación en la unión, sistema compuesto, sistema de rieles, izado de membranas y paneles móviles. Esta clasificación nos proporcionará la información necesaria para realizar en cada tipo un análisis mecánico y estructural; y determinar así, cuales de estos tipos son los más eficientes para ser aplicados a la Arquitectura y en especial en el diseño y construcción de una cubierta móvil adaptable.
- Descripción de los elementos constructivos, secciones y criterios de diseño para este tipo de estructuras.
- Ejemplos de aplicación arquitectónica, en fachadas, cubiertas, y cielo rasos móviles, albergues de emergencia transitorios, pabellones itinerantes, y edificios móviles, así como sus respectivos detalles constructivos, materiales y el diseño de diversos tipos de unión para cada aplicación.

<sup>10</sup>Algunos ejemplos de estas aplicaciones:



**Cubierta plegable para una gradería**



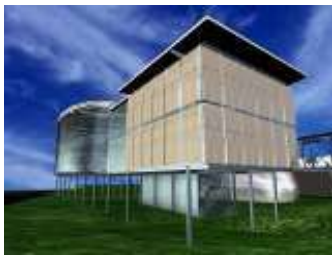
**Pabellón Móvil**

<sup>9</sup> FRANCO Ricardo, TORRES Leonel, **Estructuras Adaptables**. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 2006.

<sup>10</sup> Aplicaciones arquitectónicas tomadas del libro **Estructuras Adaptables**



*Albergue de emergencia plegable*



*Fachada Móvil*



*Estructuras para eventos*

## Planteamiento de la pregunta de investigación

***¿Es posible la generación de una arquitectura adaptable en la cual la estructura y el medio ambiente se encuentren en continua retroalimentación?***

Para nadie es un secreto que actualmente es el hombre quien se adapta al espacio que habita, y no éste al hombre. Al buscar la adaptabilidad de estructuras mediante la cibernética y la mecánica se le permite al hombre salir de la rigidez de las construcciones comunes, potenciando su creatividad y su libre desarrollo.

Este proyecto de investigación en su primera etapa pretende estudiar y analizar varios sistemas estructurales móviles de manera virtual con el fin de establecer ventajas comparativas. Una vez establecido el sistema de mayor factibilidad tanto energética como económica, se procederá al diseño y construcción de una estructura móvil que mediante mecanismos de control y procesos de retroalimentación permita controlar y cambiar la configuración espacial, formal y geométrica del sistema con fines adaptativos.

Se intenta con esta propuesta generar una nueva arquitectura que pueda responder a las variaciones de uso y forma que involucra la dinámica moderna. Se distinguen diversas posibilidades de aplicación para esta nueva arquitectura como: invernaderos, espacios deportivos, educativos y comerciales, así como en la industria aeroespacial. Sin duda, los sistemas articulados móviles de un grado de libertad son los más eficientes para movilizar una estructura, así como para controlarla. La configuración espacial, los mecanismos, así como el sistema de retroalimentación y control serán los objetivos principales de nuestra investigación.

### **Justificación:**

El proyecto 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 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 aunados con la cibernética se perfilan hoy como una de las formas más eficientes para producir respuestas adaptativas.

Este tema de investigación en nuestro país apenas inicia, pero ha originado interesantes aplicaciones arquitectónicas, planteando nuevas respuestas y señalando caminos investigativos para la generación de una arquitectura adaptable. La investigación para la obtención de sistemas estructurales y tecnologías más eficientes, o que respondan de una manera adecuada a la variabilidad de las necesidades presentes en nuestra sociedad merece toda nuestra atención.

Con el desarrollo de esta investigación se obtendrían los siguientes beneficios:

- Desarrollar una arquitectura interior, confortable, adaptable, con nuevos lenguajes formales y estructurales.
- Otra manera de abordar el diseño arquitectónico: contemplando el movimiento como criterio de diseño.
- Nuevos lenguajes objetuales desde estructuras adaptables en cuanto a forma y espacio.

### **Hipótesis**

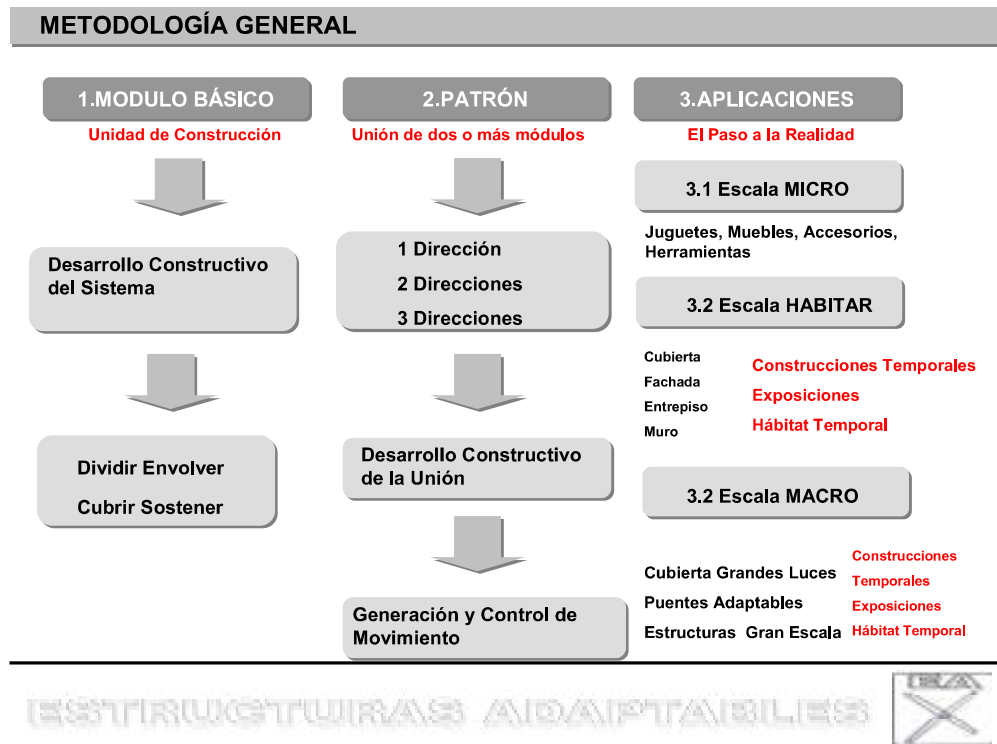
**La inclusión de la retroalimentación en la arquitectura, puede generar una arquitectura adaptable.** *“La retroalimentación implica un intercambio de información, una interacción constante entre el objeto proyectado y su medio, y una evaluación permanente de resultados*

para generar procesos. Bajo este concepto puede entenderse la propuesta adaptativa como resultado de adquirir información y procesarla inteligentemente para producir una solución".<sup>11</sup>

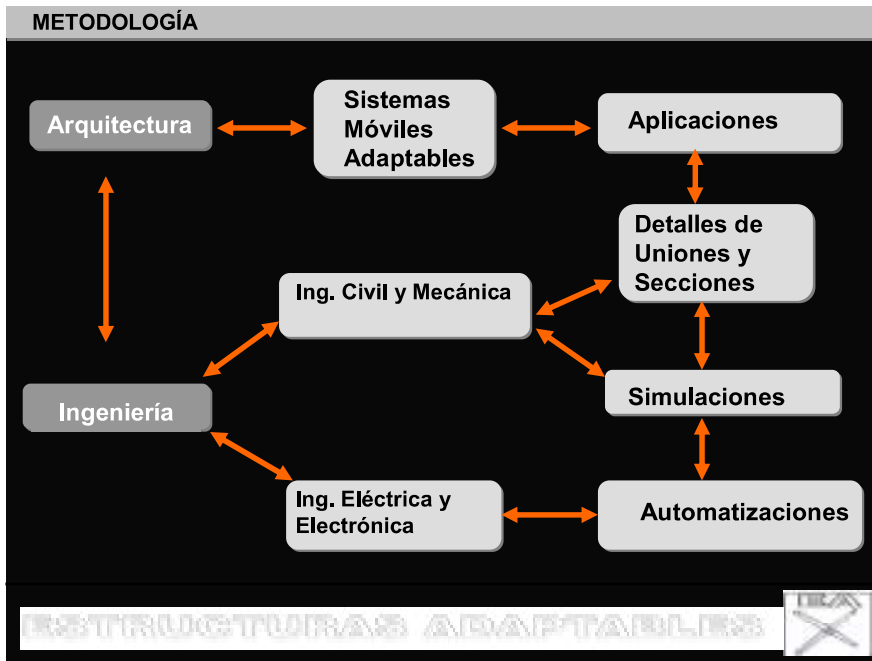
Este concepto entendido desde la arquitectura y el diseño implica la toma de información del exterior o interior, para generar actuaciones eficientes en la generación de procesos adaptables. En este proceso participan mecanismos de control que transforman la estructura para reacomodar el espacio, la 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 relacionarse con los objetos.

El pilar de esta investigación es la arquitectura, pero ésta visión no trunca el beneficio y la aplicación a otras disciplinas relacionadas con el diseño, puesto que las exploraciones de sistemas móviles se pueden dar en tres escalas diferentes: **micro** (juguetes, muebles, accesorios, objetos) **meso**: (viviendas, construcciones temporales, pabellones, stands) y **macro**: (grandes cubiertas, puentes, y estructuras a gran escala).



<sup>11</sup>. Leonel Torres, Ricardo Franco. **Estructuras Adaptables**. Editorial Universidad Nacional Colombia. 2006.



**Criterios para la proyectación de Sistemas Móviles Adaptables:**

Grado de libertad, repetición modular y los tipos de articulación y movimiento.

Basados en la revisión bibliográfica y considerando los criterios anteriores se trazaron tres líneas de experimentación:

- 1 Articulación Intermedia (Tijeras rectas, Círculos Móviles).
- 2 Articulación en los extremos (Superficies Regladas).
- 3 Superficies deslizables movilizadas por rieles.

**Personal Participante:**

**Ricardo Franco, Arquitecto** U. Nacional  
**Pablo Insuasty, Arquitecto** U. Nacional  
**Pedro Nel Quiroga, Ing. Civil**  
**Enrique Estupiñán, Ing. Electrónico**

UJTL Investigador Principal  
 UJTL Co-Investigador  
 ECI Co-Investigador  
 ECI Co-Investigador

**Cesar Cortés, Arquitecto** U. Nacional  
**Miguel Hincapié, Arquitecto** U. Nacional  
**Hector Perez Ing. Civil**

UJTL Auxiliar de Investigación  
 UJTL Auxiliar de Investigación  
 ECI Auxiliar de Investigación

**Otros participantes del proyecto:**

Alexandra Luque – Estudiante Arq. Interiores.

Citlalli Fernández Otalora - Estudiante Arq. Interiores

Jaime Gómez - Estudiante Arq. Interiores

Rafael Días - Estudiante Arq. Interiores

Marvan Helberger– Audiovisuales.

Diana Serpa Arbeláez - Estudiante D. Industrial.

José Alejandro monrroy - Estudiante D. Industrial.

Sebastián Riveros – Estudiante D. Industrial.

Luisa Velásquez – Estudiante – D. Gráfico.

Mauricio Parra – Estudiante de Ing. Electrónica

Jasón Camargo - Estudiante de Ing. Electrónica