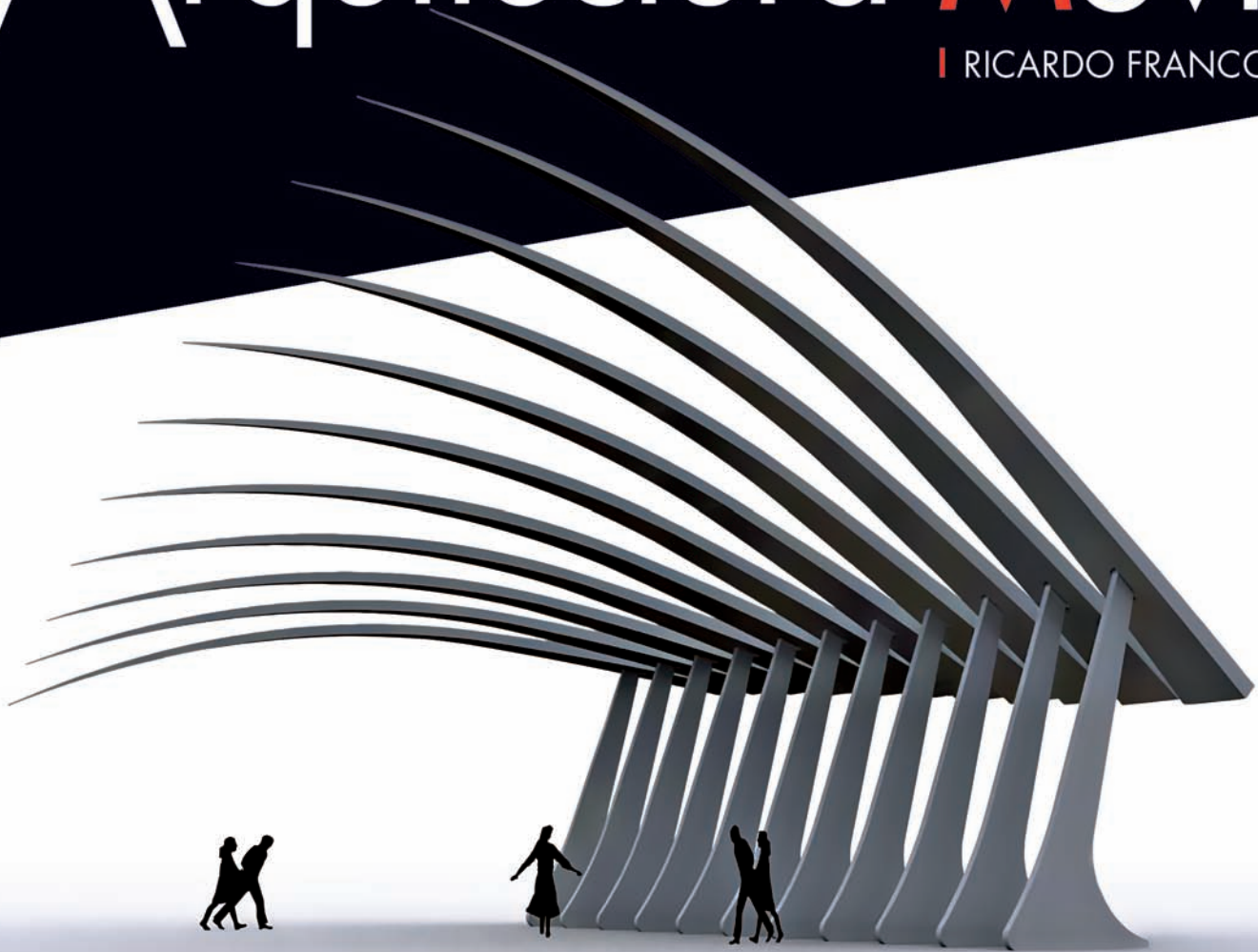


# Hacia una Arquitectura Móvil

| RICARDO FRANCO |



| PABLO INSUASTY | CÉSAR CORTÉS | MIGUEL HINCAPIÉ | LEONEL TORRES |

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS, ARTES Y DISEÑO | PROGRAMA DE ARQUITECTURA









# Hacia una Arquitectura Móvil

| Ricardo Franco |

| Pablo Insuasty | César Cortés | Miguel Hincapié | Leonel Torres |



GRUPO DE INVESTIGACIÓN ESTRUCTURAS ADAPTABLES



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO

Facultad de Ciencias Humanas, Artes y Diseño | Programa de Arquitectura



## Agradecimientos

*Al absoluto, al eterno femenino.*

Queremos expresar nuestros más sentidos agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones, que mediante grandes o pequeños aportes, hicieron posible el desarrollo de este proyecto de investigación:

A José Fernando Isaza Rector de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. A Diogenes Campos Vicerrector Académico. A Manuel García Director de la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación. A Alberto Saldarriaga Decano de la Facultad de Ciencias Humanas, Artes y Diseño. A Jaime Melo y Luis Carlos Celis quienes hicieron posible la publicación de este libro. A la Biblioteca General de la Universidad. A la Dirección Administrativa. Al Programa de Arquitectura. A la Tecnología en Representación de la Arquitectura. Al Departamento de Compras. A Rodolfo Coy coordinador de la Sala CAD-CAM. A los programas de Diseño Industrial y Gráfico. A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por su colaboración en el desarrollo de pruebas, análisis y simulaciones para este proyecto.

Especialmente a nuestro decano Carlos Hernández por su apoyo decidido desde el inicio de este proyecto. A nuestros compañeros de trabajo Oscar Salamanca, David Cárdenas, Luz Nidia Velandia, Vicky Mena, Alfredo Montaño, Ricardo Rojas, Adriana Varela, Darío Vanegas, Peter Bright y Pedro Jaramillo. A los maestros Dicken Castro y Óscar Ángel por la confianza y la oportunidad que nos brindaron de enseñar Arquitectura. A Leonel Torres por su apoyo y colaboración incondicional en el desarrollo de esta publicación.

A Yadira Medina, por el amor dado cada día a mi existencia, por su inagotable sabiduría, por su ejemplo de lucha y de entrega a la bendita vida. A Misael Franco, por darme a conocer el libro donde todo ya está escrito, por mi vida y por estar ahí cuando más lo necesitaba. A Diana del Pilar Becerra, por este renacer y hacerme sentir de nuevo la sagrada vida. A nuestras familias, por su apoyo decidido e incondicional. A todos nuestros amigos, quienes con sus reflexiones oportunas han orientado las líneas de nuestro trabajo profesional.

Y a los estudiantes Alexandra Luque, Jaime Gómez, Danna Ángel, Santiago Hernández, María Paula Salas, Citlalli Fernández Otálora, Catalina Laverde, Manuela Fajardo, Alfredo Mogollón, María Elvira Méndez, Camilo Acosta, Nicolás López, Mónica Vargas, Andrea Bohórquez, María Fernanda Sierra, Emmy Rojas y Paulina Arias del Programa de Arquitectura; a Diana Serpa Arbeláez, José Alejandro Monroy, Sebastián Riveros, David Clavijo, Steven Uribe, Marcela Salgado y Grace Mateus del Programa de Diseño Industrial; a Rafael Díaz y Mauricio Méndez del Programa de Arquitectura y Diseño Gráfico; a Marvan Helberger de la Tecnología en Realización de Audiovisuales y Multimedia; a Jael Rincón del Programa de Diseño Gráfico de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Hacia una Arquitectura Móvil / Ricardo Franco... [et al.]. – Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2010.  
292 pp.: il. col.; 22 cm.

ISBN: 978-958-725-032-9

1. ARQUITECTURA Y SOCIEDAD. 2. URBANISMO. I. Franco Ricardo

CDD720. H115

## UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

Carrera 4 No. 22-61 PBX 2427030, Bogotá

[www.utadeo.edu.co](http://www.utadeo.edu.co)

### RECTORÍA

José Fernando Isaza Delgado

### VICERRECTORÍA ACADÉMICA

Diógenes Campos Romero

### DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN

Manuel García Valderrama

### FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS, ARTE Y DISEÑO

Alberto Saldarriaga Roa

### PROGRAMA DE ARQUITECTURA

Carlos Hernández

### HACIA UNA ARQUITECTURA MÓVIL

ISBN: 978-958-725-032-9

### ARQUITECTO INVESTIGADOR PRINCIPAL:

Ricardo Franco Medina



ARQUITECTOS COINVESTIGADORES:

Pablo Insuasty  
César Cortés  
Miguel Hincapié  
Leonel Torres

ESTUDIANTES QUE HICIERON  
PARTE DEL SEMILLERO:

Programa de Arquitectura: Jaime Gómez, Emmy Rojas, Santiago Hernández, María Paula Salas, Paulina Arias, Mauricio Méndez, Rafael Díaz, Citlalli Fernández y Alexandra Luque

Programa de Diseño Industrial: Steven Uribe, Andrés Clavijo, Sebastián Riveros, Diana Serpa, Marcela Salgado y Grace Mateus

Programa de Diseño Gráfico: Jael Rincón

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES

Jaime Melo Castiblanco (E)

COORDINACIÓN EDITORIAL

Luis Carlos Celis Calderón

REVISIÓN DE TEXTOS

Taller de Edición - Luis Rocca

CONCEPTO GRÁFICO, DISEÑO,  
DIAGRAMACIÓN Y RETOQUE FOTOGRÁFICO

Luis Carlos Celis Calderón

Reservados todos los Derechos

© 2010 Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Este libro es el resultado de la investigación "Estructuras Adaptables Aplicadas a la Vivienda Mínima. Fase II de la Investigación: Estructuras Adaptables a partir de Procesos Mecánicos y Cibernéticos" Código 130-03-07, financiada en su totalidad por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano a través de la convocatoria interna No. 3 de 2007.



## Contenido

Prefacio	13
Estructura del libro	17
Glosario de conceptos	19

### Capítulo 1

<b>CIBERNÉTICA Y ESPACIOS SOSTENIBLES</b>	<b>25</b>
Ciudad y sostenibilidad	28
Arquitectura adaptable y sostenible	33
La tecnología redentora	37

### Capítulo 2

<b>ADAPTABILIDAD ARQUITECTÓNICA</b>	<b>43</b>
Introducción	44
Definición de adaptabilidad	49
Respuesta adaptativa a condiciones externas	52
Respuesta adaptativa a condiciones internas	54
La respuesta adaptativa a procesos constructivos y de transportabilidad	55
Adaptabilidad Pasiva	56
Adaptabilidad Activa	58

## Capítulo 3

### LA GEOMETRÍA DE LOS SISTEMAS MÓVILES

61

Conceptos básicos	62
La geometría como ordenadora de la estructura y el espacio	64
Polígonos	66
Cuerpos geométricos:	68
Poliedros	68
Sólidos platónicos	70
Dualidad	72
Sólidos arquimedianos y catalanes a través de la truncación y estelación	73
Prismas y antiprismas	78
Redes y agrupaciones	83
Agrupaciones planas –mallas bidimensionales–	83
Agrupaciones espaciales –mallas tridimensionales–	87
Dirección de las agrupaciones	88
Cuerpos redondos	91
Definición de los cuerpos redondos	92
La circunferencia y el círculo	92
La directriz y generatriz en los cuerpos redondos	96
Cilindro	97
Cono	98
Esfera y Semiesfera	98
Cúpula	99
Toro de revolución	101
Secciones cónicas	103
Circunferencia	103
Elipse	104
Parábola	107
Hipérbola	107

Catenaria	108
Superficies	111
Superficies regladas	111
Superficies planas	111
Superficies de curvatura simple: Superficie cilíndrica y Superficie cónica	112
Superficies alabeadas o de doble curvatura	113
Superficies cóncavas y convexas	114
Conoides	115
Elipsoide: Superficies de puntos elípticos	117
Hiperboloide: Superficies de puntos hiperbólicos	117
Hiperboloide de una hoja	118
Hiperboloide de dos hojas	118
Paraboloide hiperbólico: Superficies de puntos parabólicos	118
Aplicaciones en la arquitectura de superficies regladas de doble curvatura	120
Espirales	125
Hélices	126
Hélice cilíndrica	127
Hélice cónica	127
Hélice esférica	127

## Capítulo 4

### **SISTEMAS MÓVILES O ADAPTABLES**

<b>SISTEMAS MÓVILES O ADAPTABLES</b>	<b>129</b>
Conceptos básicos	130
Sistema estructural	130
Exigencias del sistema estructural	131
Requisitos estructurales estáticos	133
Estructuras adaptables	135
Requisitos estructurales dinámicos	138
Requisitos funcionales y técnicos de sistemas móviles	140

Clasificación de los sistemas móviles	143
Criterios de clasificación según Gantes	143
Criterios de clasificación según Franco y Torres	144
Sistemas articulados	144
Sistemas de barras con articulaciones en los extremos	144
Superficies regladas móviles	144
Poliedros desplegados	149
Sistema tipo falange	157
Pirámides y dipirámides articuladas en sus vértices	160
Sistemas de barras con articulaciones intermedias	163
Tijeras rectas	163
Tijeras anguladas	166
Tijeras con angulación espacial	170
Sistema tipo brazo	176
Pirámides y dipirámides movilizadas por tijeras rectas	179
Sistemas de barras con articulaciones mixtas	181
Arcos móviles	184
Arcos movilizadas por tijeras	184
Arcos móviles por rombos deformables	186
Círculos y óvalos móviles	191
Sistemas izados de membranas	194
Superficies deslizables	196
Superficies rotacionales	196
Superficies deslizables	198
Secciones deslizables	201
Plegaduras móviles	202

Paneles o láminas móviles	204
Láminas con articulación intermedia	204
Láminas con articulación en el extremo	207
Láminas movilizadas por tijeras rectas	210
Láminas movilizadas por tijeras rectas con articulación intermedia	213

## Capítulo 5

<b>APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS MÓVILES</b>	<b>217</b>
Metodología para el desarrollo constructivo de aplicaciones	218
Criterios de diseño	220
Respuesta del sistema	222
La dinámica de uso	222
Función	225
Requerimientos de los sistemas móviles para su aplicación	225
Aplicación de los sistemas móviles	226
Aplicaciones de sistemas móviles al sistema portante	228
Aplicación de sistemas móviles a elementos no estructurales móviles	241
Envolver	241
Aplicaciones de estructuras para envolver	242
Dividir	259
Aplicaciones de estructuras adaptables para dividir	260
Cubrir	265
Aplicaciones de estructuras adaptables para cubrir	266
Diseño de objetos	275
Aplicaciones de estructuras adaptables en el diseño de objetos	276





## Prefacio

Lo fundamental de la idea de la adaptabilidad y flexibilidad arquitectónica a partir de estructuras móviles o adaptables, estriba en la hipótesis de que el arquitecto es incapaz de determinar definitivamente el uso y el carácter de las edificaciones, y que corresponde al usuario de dichas construcciones decidir –y rediseñar– el uso y la forma que quiera asignarles. El edificio debe ser adaptable, móvil, transformable en el sentido de que cualquiera que sea el uso que desee darle el usuario o grupo social, sea siempre posible y realizable sin que la arquitectura presente obstáculos a las transformaciones que resultasen.

Esta investigación sostiene que la proyectación, el diseño y la construcción de edificaciones humanas integradas al medio ambiente y al contexto social, cultural y económico, han de provenir de un trabajo mancomunado de arquitectos, ingenieros, biólogos, ecologistas, sociólogos, antropólogos y economistas, entre otros, con un control directo e inalienable por parte de quienes van a vivir, habitar y disfrutar de estas edificaciones. Esto quiere decir que los edificios van a ser hechos y rehechos, que lenta y sutilmente serán cambiados por sus usuarios y habitantes. Sin embargo, el hábitat arquitectónico actual se presenta en su mayoría rígido, estático e inmodificable, haciendo casi imposible futuras transformaciones, así como la realización de cambios de forma y de espacio en el tiempo con fines adaptativos. El proyecto investigativo, sostiene 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.

Es aquí donde los sistemas estructurales móviles juegan un papel importante, ya que se proyectan hoy como una de las formas más eficientes para producir respuestas adaptativas arquitectónicas. El Grupo de Investigación en Estructuras Adaptables, GEA, ha explorado y experimentado en estos tres últimos años con más de veinte sistemas móviles, con el objetivo de aplicar las características de estos sistemas a la construcción y desarrollo de una arquitectura adaptable para satisfacer las necesidades habitacionales del hombre actual y la sociedad.

### **Descripción del proyecto**

Este proyecto investigativo es un trabajo multidisciplinario que se realizó conjuntamente entre el Grupo de Investigación en Estructuras Adaptables, del Programa de Arquitectura de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y los Centros de Estudio de Electrónica y de Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Jaime Garavito, entre los años 2006 y 2009. Para su desarrollo contó con el apoyo de la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación, la Vicerrectoría Académica y Financiera, el Departamento de Compras, el Programa de Arquitectura y la Facultad de Ciencias Humanas, Artes y Diseño de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

El trabajo del GEA se dividió en dos tareas principales: la primera consistió en definir las características básicas de los sistemas móviles, con el objeto de construir una matriz que reuniera el estado del arte de los sistemas móviles empleados en otros contextos y el trabajo exploratorio de la investigación con base en el tipo de articulación, el grado de libertad y la generación y control de movimiento. La segunda labor consistió en precisar los sistemas móviles más eficientes para aplicarlos a la arquitectura y al diseño, buscando generar una nueva arquitectura y una nueva forma de abordar y pensar el diseño, que incluye al movimiento y el cambio como premisas proyectuales.

El campo de esta investigación es la arquitectura, pero esta delimitación no excluye 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).

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 una estética propias para nuestro contexto.



## Estructura del libro

La presente publicación se divide en cinco capítulos, compuestos así:

**Capítulo 1. Cibernética y Espacios Sostenibles.** Define el concepto de Cibernética, disciplina en donde la retroalimentación de diversas condiciones permite proporcionar respuestas adaptativas y sostenibles en entornos inmediatos.

**Capítulo 2. Adaptabilidad Arquitectónica.** Precisa el concepto de adaptabilidad, define sus características primordiales y establece las clases de adaptabilidad.

**Capítulo 3. La geometría de los sistemas móviles.** Para la proyectación y construcción de estructuras móviles es vital el conocimiento de las geometrías, tanto la clásica como las nuevas, debido a que la totalidad de las propuestas formales y estructurales de los sistemas móviles, derivan de configuraciones a partir de geometrías bidimensionales y tridimensionales.

**Capítulo 4. Sistemas móviles o adaptables.** Define, cataloga y ordena los diversos sistemas móviles con base en el tipo de articulación, el grado de libertad, la generación y control de movimiento.

**Capítulo 5. Aplicación de los sistemas móviles.** Establece la metodología para el desarrollo constructivo de aplicaciones, los criterios de diseño y los requerimientos de los sistemas móviles para su aplicación arquitectónica, planteando múltiples posibilidades y campos de aplicación. El capítulo no intenta solucionar la totalidad y complejidad técnica y funcional de los proyectos presentados, sino mostrar la versatilidad de los sistemas móviles.



## Glosario de conceptos

**Del porqué de la adaptabilidad en la arquitectura:** 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. Las transformaciones sociales, junto a los cambios del modo de vida cotidiano, son imprevisibles para el arquitecto y para la vida de las edificaciones. Los nuevos edificios y las nuevas ciudades deben poder adaptarse, moverse, transformarse, en el sentido de que cualquiera que sea el uso que desee darles el usuario o grupo social, éste sea siempre posible y realizable sin que implique la demolición total de la edificación.

En este momento es imperante proyectar la arquitectura con un enfoque adaptable y flexible en la totalidad de nuestro entorno, considerando diversos argumentos: el nuevo modelo de casa como lugar de trabajo, el cambio en el número de miembros que componen la familia, el concepto de familia, los diversos grupos sociales y tribus urbanas, la sostenibilidad medioambiental y económica de la que depende la supervivencia de millones de seres en el mundo, la conveniencia de desplazarse diariamente al trabajo, los aspectos de una vida más plena y la posibilidad de trabajar a distancia gracias a la tecnología de las comunicaciones.

**Adaptabilidad arquitectónica:** "se define como la capacidad de una edificación para acomodarse de forma pasiva o activa a diferentes tipos de requerimientos o funciones<sup>1</sup>, y se compone de dos términos fundamentales:

- Flexibilidad: definida como el potencial de una edificación para albergar diferentes usos o funciones.

---

<sup>1</sup> Basado en criterios de Diefier de Blümel, contenidos en Otto, Frei (1974).

- Transformabilidad: entendida como la capacidad de cambio de forma para responder a cambios en el medio ambiente exterior e interior.

El concepto de adaptabilidad arquitectónica combina los dos conceptos anteriores, y plantea que el edificio no se diseña exclusivamente para satisfacer los requerimientos específicos de contexto y función existentes en el momento de su proyección, sino que es capaz de responder a cada uno de los múltiples cambios que se presentarán con el transcurrir del tiempo. Esto introduce otro término fundamental en la arquitectura: la retroalimentación.” Franco R. y Torres L. (2006).

**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 de respuesta. Este concepto entendido desde la arquitectura y el diseño implica la toma de información del medio ambiente exterior, interior o del usuario, para generar actuaciones eficientes en la generación de respuestas adaptativas. En este proceso participan mecanismos de control y actuación que transforman la estructura para reacomodar el espacio, la piel y los objetos.

**Respuesta adaptativa:** puede entenderse como el resultado de adquirir información y procesarla inteligentemente, para producir una solución precisa y acorde con las necesidades vivenciales del habitante o usuario del objeto arquitectónico.

**Estructuras adaptables<sup>2</sup>:** conocidas también como estructuras móviles, retráctiles, expansibles o extensibles, son un tipo especial de estructuras adaptativas caracterizadas por su posibilidad de cambiar de forma y de responder a estímulos, tanto externos como internos, ejecutando procesos de retroalimentación. Un caso particular, son las Estructuras Desplegables de Barras o EDDB. Estas estructuras son definidas por Gantes (2002) como “... un montaje de miembros prefabricados o elementos que pueden ser transformados de una configuración cerrada compacta o plegada, a una forma expandida predeterminada de una estructura completamente estable capaz de soportar cargas”.

**Sistema estructural:** se define como el conjunto ordenado, de elementos jerárquicos e interactuantes que son capaces de recibir, soportar y transmitir cargas y fuerzas hacia la Tierra, siendo su principal objetivo resguardar y proteger la vida.

El concepto de estructuras adaptables amplía necesariamente estas funciones básicas; los

---

<sup>2</sup> Definición tomada ESTUPIÑAN, Enrique; PÉREZ, Héctor; QUIROGA, Pedro N.; CAMARGO, Jeison; PARRA, Mauricio. (2009), *Informe Modelación Cinemática y Análisis Estructural de una Estructura Adaptable de Barras*.



sistemas estructurales adaptables deben ser capaces de reacomodarse posibilitando los cambios formales y espaciales en procura de albergar nuevos usos, necesidades o funciones, dialogar e interactuar con su entorno físico y cultural haciendo uso del concepto de retroalimentación aprovechando condiciones propias de su medio para el beneficio y confort de sus usuarios.

**Arquitectura sostenible:** para comprender qué es la arquitectura sostenible, primero se debe aclarar el concepto de “desarrollo sostenible”. De acuerdo con la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1987), en su informe *Nuestro Futuro Común* define el “... desarrollo sostenible [como] ... aquel que garantiza las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

La arquitectura sostenible tiene en cuenta el impacto ambiental de todos los procesos implicados en la construcción de una nueva edificación, desde los materiales de fabricación (los cuales no deben producir desechos tóxicos y no deben consumir en exceso energía para su producción, transporte y armado), las técnicas de construcción que impliquen un mínimo de impacto y deterioro ambiental, la ubicación de la misma y la retroalimentación con el entorno, el mínimo consumo de energía en su funcionamiento, y el reciclado o reutilización de los materiales o la estructura cuando la edificación ha cumplido su función y su tiempo de diseño.

La arquitectura sostenible se fundamenta en cinco pilares básicos:

1. La conservación y protección del ecosistema sobre el que se asienta.
2. La aplicación y puesta en funcionamiento de sistemas energéticos que fomenten el ahorro de energía en las edificaciones.
3. La utilización de materiales de construcción sanos y de mínimo consumo de energía en su producción, transporte y armado.
4. El reciclaje y reutilización de residuos, materiales, componentes y la estructura portante de las edificaciones.
5. La movilidad y transformabilidad de la edificación, para adaptarse a las necesidades de sus habitantes y usuarios.

Cuando se habla de arquitectura sostenible no sólo se hace referencia al ahorro y mínimo consumo energético en las edificaciones, sino que además, incluye todos los procesos de

planeación, diseño y construcción; por ejemplo la fabricación de los materiales, el transporte de éstos, la puesta en marcha de la obra, la función y utilización de los espacios, la vida útil del edificio, la eventual demolición y la posibilidad de reutilización, reciclaje de materiales, componentes y el sistema estructural.

El término arquitectura sostenible es amplio y avasallador, dentro de él se incorpora la arquitectura bioclimática, ésta es una herramienta de aprovechamiento de recursos naturales como el sol, la vegetación, la lluvia y los vientos para reducir el consumo energético en las edificaciones.

**Arquitectura bioclimática:** se entiende por arquitectura bioclimática el diseño de edificaciones que tienen en cuenta las condiciones climáticas y ambientales del lugar, con el objetivo de brindar confort higrotérmico a los habitantes y usuarios, mediante el aprovechamiento de los recursos renovables como el sol, la vegetación, la lluvia y las corrientes de vientos, disminuyendo así mismo el impacto ambiental de la edificación, mediante la reducción del consumo de energía en su funcionamiento. Esta arquitectura hace uso del conocimiento y diseño ancestral para climatizar ambientes con el empleo mínimo de recursos, igualmente utiliza elementos arquitectónicos como fachadas, divisiones y cubiertas capaces de responder ante las variantes condiciones atmosféricas como el viento, la lluvia y el sol, permitiendo además del control climático de los recintos, interactuar con el medio para sacar mayor ventaja de los agentes naturales como fuentes generadoras de energía.

Una edificación diseñada bioclimáticamente puede obtener un gran ahorro energético, e incluso llegar a ser sustentable en su totalidad. Aunque el costo de la construcción inicial es alto, puede llegar a ser rentable en el tiempo, dado que el funcionamiento de la edificación se compensa con la disminución del valor de las facturas de energía.

**Prefabricación:** se entiende como prefabricación, la producción industrial fuera de obra del sistema constructivo, basado en el diseño y modulación de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica, y que en su fijación definitiva en la edificación, tras una etapa de montaje simple, precisa y no dificultosa, conforman la totalidad o una parte de un edificio o construcción. La prefabricación es un concepto más antiguo y general que la industrialización, ya que el familiar ladrillo en cualquiera de sus formas y colores es un elemento prefabricado; existen diversos ensayos de construcciones con elementos prefabricados a lo largo de la historia que han dado como resultado las grandes obras de arquitectura; por ejemplo, los bloques de piedra empleados para la construcción de

pirámides, fortalezas, castillos, catedrales o las columnas de templos, que muchas veces eran talladas en diversos y lejanos lugares, para ser finalmente montadas, según el método previsto por el arquitecto-constructor.

Cuando una edificación ha empleado elementos prefabricados en su construcción, las operaciones en la obra son básicamente de montaje, y no de fundición y hechura. Una excelente referencia para conocer el grado de prefabricación de una construcción es la de cuantificar la cantidad de residuos generados en la manufactura; cuanta mayor cantidad de escombros y suciedad producidos, menor es el índice de prefabricación.

**"Modulación:** implica que el sistema puede ser construido y ensamblado de una manera sistemática y rápida a partir de elementos estandarizados y prefabricados, empleando el menor gasto energético en el proceso de producción de componentes.

La modulación del sistema se puede dar de dos maneras:

1. La totalidad de los elementos que lo componen son iguales.
2. El sistema está compuesto por elementos de diferentes características y dimensiones, por ejemplo, pequeños módulos prefabricados agrupables o los grandes reticulados espaciales". Franco R. y Torres L. (2006).

**Industrialización:** incluye el empleo de elementos prefabricados en la obra, es inseparable del concepto de producción en serie y de programación. La industrialización pretende resolver los problemas de organización, desarrollo, control y evaluación del proceso constructivo a través de la gerencia estratégica y la planificación del suministro de los materiales, de la financiación y del estudio de los tiempos en las sucesivas fases operativas, con el objetivo de obtener mayor rapidez de ejecución, economía de materiales, reducción del esfuerzo físico de la mano de obra y mayor calidad arquitectónica y de confort.

**Grado de libertad:** en un sistema móvil, éste se define como el número de barras necesarias para rigidizar el sistema estructural y brindar estabilidad formal al conjunto. En los sistemas móviles el grado de libertad define la estabilidad del sistema durante el desplazamiento de los elementos, y la facilidad con que adquiere rigidez el conjunto una vez haya logrado su posición de equilibrio final. Se busca que un sistema móvil posea sólo un grado de libertad por facilidad constructiva, estabilidad y eficiencia energética, debido a que cada grado de libertad en una estructura móvil implica un motor, un actuador, un control, una guía y una entrada de energía al sistema.



# Capítulo 1

25

## Cibernética y Espacios Sostenibles

Pablo Insuasty<sup>3</sup>

La arquitectura encuentra herramientas en la cibernética que hacen posible la adaptabilidad físico-espacial, por lo tanto se hace importante en este proyecto, el proceso cibernético, como método para proyectar, teniendo en cuenta las variables que ofrece dicho proceso, además se hace dominante la relación activa entre espacio y usuario, para adaptarse mutuamente a necesidades imperantes en el medio.

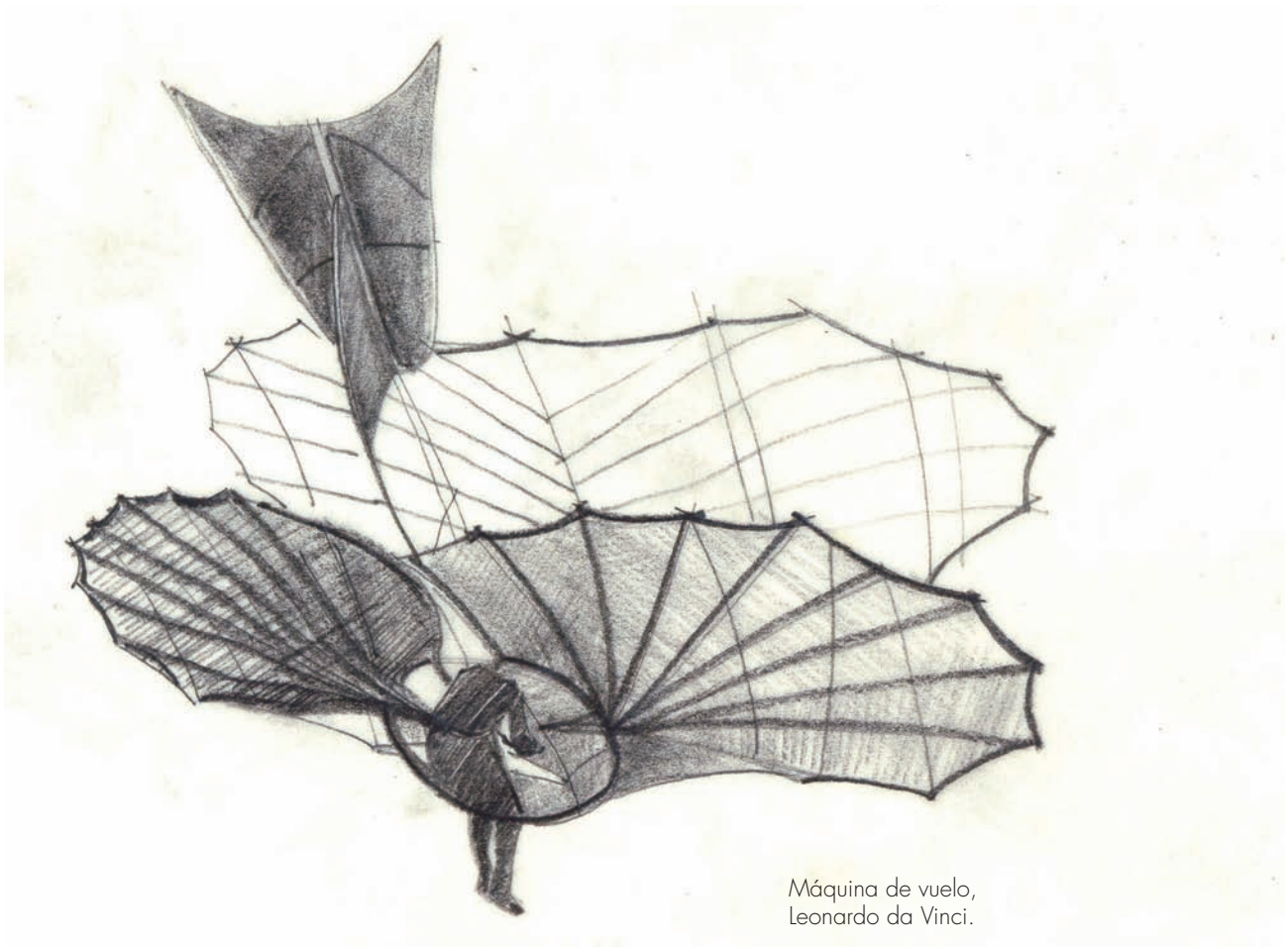
En este caso, en particular, se plantea una distancia en la relación de la cibernética con la máquina, como resultado del proceso adaptativo. La cibernética nos ofrece posibilidades que se relacionan directamente con manejar o comandar procesos de adaptación, que para nuestro caso específico tienen que ver con la arquitectura y por lo tanto con los espacios sugeridos o productos de dicho proceso de adaptabilidad. Entendemos la cibernética como posibilidad para aproximarnos al problema de la adaptabilidad de manera activa y pasiva, a partir de sistemas móviles que en muchos casos resultan ser portantes.

El movimiento en este caso es un indicador que hace evidente la posibilidad de transformación espacial, y nos permite especular respecto a las posibilidades de uso y construcción. Esta adaptabilidad activa se hace presente en la arquitectura, en porcentajes muy reducidos, limitando las posibilidades de múltiples usos y experiencias espaciales.

---

3 Arquitecto de la Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Proyecto Arquitectónico, Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor asociado de la Facultad de Ciencias Humanas, Artes y Diseño, Programa de Arquitectura, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Investigador principal Grupo VISUAL LAB Architecture. Coinvestigador del Grupo GEA.

Es inevitable que nuestros sistemas incorporen energía en dicho proceso de adaptabilidad, y por lo tanto nuestra preocupación por la sostenibilidad, en primera instancia, radica en el uso de energías renovables de manera integral. La mecánica apoyada en la física, que haga posible energías renovables, nos interesa por la sostenibilidad a largo plazo y el impacto positivo que pueda generar en el ambiente en el que se desarrollen.



Máquina de vuelo,  
Leonardo da Vinci.

## Ciudad y sostenibilidad

Medio ambiente: “El conjunto de los componentes naturales, sociales, culturales, económicos y políticos que potencializan el uso de los recursos naturales, humanos e intelectuales para el desarrollo de una comunidad”.

William Ogburn

La posibilidad de un “futuro común” fue planteada desde 1987 en la 42ª Sesión de las Naciones Unidas, e incluía como concepto el desarrollo sostenible, en donde se plantea la posibilidad de vivir y desarrollarse en sociedad sin hipotecar el futuro de generaciones venideras.

Este planteamiento involucra dos temas primordiales dentro del desarrollo sostenible; el primero tiene que ver con la necesidad de vivir en sociedad, situación propia de los diferentes grupos socioculturales; el segundo, abre la discusión alrededor del manejo de energías renovables y materias primas del planeta.

Dentro de la naturaleza humana está el vivir en comunidad y establecerse en territorios determinados geográfica y políticamente, antiguamente el desarrollo de las ciudades estaba directamente relacionado y de manera simbiótica con el medio circundante, eso quiere decir que su crecimiento era proporcional a la capacidad de obtener elementos básicos como agua, tierra, combustibles y materias primas. Es difícil encontrar muchos ejemplos en Roma y China antiguas, en el que se desafiaron los límites de sostenibilidad con sus conquistas territoriales, desencadenando un despliegue de



creatividad y tecnología en el manejo y consecución de recursos para solventar necesidades básicas como agua y alimentos.

En estos imperios el factor técnico acompañaba el desarrollo de los asentamientos, era imposible expandirse y consolidarse si no se garantizaban a los pobladores, las condiciones mínimas de habitabilidad en los territorios, en algunos casos hostiles. La pre-ocupación por conquistar nuevos territorios gobernaba la mente de los dirigentes; el arte de la guerra era una herramienta de la cual participaban emperadores, soldados y artistas.

Las sociedades cambiaron como resultado de esta nueva manera de habitar el mundo, se complejizaron con el propósito de la conquista y la ocupación. Sin embargo, una de las condiciones inherentes al hombre seguía potencialmente intacta —la capacidad de adaptarse de manera activa al medio—, adaptabilidad producto de la observación y la retroalimentación con el entorno. Esta inteligencia propia de los seres vivos, permitió a las comunidades establecerse con seguridad hasta hoy en día. Son muchos los factores que intervienen en el proyecto de una vida en sociedad, y que en un futuro inmediato debilitan los entornos urbanos complejos, dejando sin garantía la posibilidad de grandes asentamientos en el territorio.

Economistas como Thomas Robert Malthus, pronosticaron futuros poco promisorios respecto a las ciudades europeas y fueron objeto de críticas y burlas cuando en 1798 dijo:

Considerando aceptados mis postulados, afirmo que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad

de la Tierra para producir alimentos para el hombre. La población, si no encuentra obstáculos, aumenta en progresión geométrica. Los alimentos tan sólo aumentan en progresión aritmética. Basta con poseer las más elementales nociones de números para poder apreciar la inmensa diferencia a favor de la primera de estas dos fuerzas. No veo manera por la que el hombre pueda eludir el peso de esta ley, que abarca y penetra toda la naturaleza animada. Ninguna pretendida igualdad, ninguna reglamentación agraria, por radical que sea, podrá eliminar, durante un siglo siquiera, la presión de esta ley, que aparece, pues, como decididamente opuesta a la posible existencia de una sociedad cuyos miembros puedan todos tener una vida de reposo, felicidad y relativa holganza y no sientan ansiedad ante la dificultad de proveerse de los medios de subsistencia que necesitan ellos y sus familias<sup>4</sup>.

Las teorías maltusianas sostenían preocupaciones por la ciudad desde la economía, y se pronunciaban en contra de las leyes de salud pública que protegían a la población desvalida, sometién-dola a las condiciones más precarias que un ser humano pueda soportar, para que sea la ley natural de conservación del más fuerte quien decida quiénes deben conformar las ciudades.

Hoy en día a pesar de desastrosos ejemplos de comunidades que pasan hambrunas, producto de estériles condiciones del suelo, contradictorias situaciones climáticas y complejas situaciones políticas y de orden público, la tecnología parece resolver la catástrofe planteada por Malthus, y se ha comprobado que se puede producir alimentos suficientes para alimentar a la población existente.

Esa relativa indiferencia y vida en reposo que se plantea en los textos de Malthus, debe estar acompañada de unas condiciones mínimas de habitabilidad, que también hacen parte de esa progresión aritmética, versus la población que a pesar del control

---

4 Thomas Robert Malthus, *An Essay on the Principle of Population*, 1798.

existente se expande de manera geométrica. Definitivamente esto ha cambiado las condiciones de habitar los espacios, para los cuales la arquitectura debe proponer una manera de apropiación espacial que corresponda a las necesidades existentes. Sin embargo, nuestra disciplina no ha sido ajena a la política y la especulación de la tierra, conocemos la importancia de la arquitectura para consolidar pensamientos y políticas que materialicen ideales y directrices gubernamentales.

El desarrollo de una ciudad está relacionado con la construcción del territorio, y la tecnología acompañando dicho proceso. Muchos asimilan el progreso con la tecnología, la maquinaria y la construcción; si bien es cierta esta aproximación, se puede caer fácilmente en un abismo en el momento que se pierda el sentido de lo que significa progresar. En Latinoamérica, nuestras comunidades indígenas fueron pioneras tecnológicamente en aspectos relevantes para la humanidad, como la construcción, la medicina y la astronomía, entre otras, los avances logrados fueron producto de la observación, el estudio del medio y la construcción de herramientas que proporcionaban la técnica en el desarrollo.

Hoy en día, el problema no es la tecnología, creo que la dificultad radica en el uso descontextualizado e irresponsable de la misma en manos distantes de la ética; actitud que no se debe realizar en acciones cuando se involucra el futuro de muchos. No se debe olvidar que el hombre cuenta con herramientas valiosas como el pensamiento y la creatividad, las dos posibilitan y proveen soluciones en la construcción de una sociedad con obstáculos por superar.

En la actualidad es común encontrar dos palabras juntas, "tecnología" y "sostenibilidad"; me atrevería a pensar que en otros momentos de la historia de nuestras ciudades prehispánicas, la sostenibilidad estaba entendida en conjunto con la naturaleza y la técnica. Esta triada garantizaba los asentamientos humanos hasta que la Conquista y la Colonia establecieran nuevas condiciones urbanas. Nuestras generaciones, por razones ligadas a la hibridación cultural, olvidaron procesos de relación con el medio ambiente iniciados lustros atrás, y se concentraron exclusivamente en el desarrollo de la técnica y la tecnología, con el afán de crecer y consolidar el territorio, en muchos casos distante del medio natural.

En Occidente, dentro de dimensiones históricas, el crecimiento y densificación de las ciudades se hace evidente después del siglo XV, esto es posible gracias al uso desmedido de los recursos naturales para propósitos de minería y metalurgia. Luego, la estadística como herramienta hace posible dimensionar la explosión demográfica, que hasta el día de hoy sigue siendo un tema vigente en la agenda de los países desarrollados y en vías de desarrollo.

En el siglo XIX el crecimiento urbano sucede en escalas y dimensiones evidentemente superiores a las ocurridas en siglos anteriores. Cuatro limitantes fueron vencidas en la historia del crecimiento de las ciudades, y permitieron crecimientos exponenciales: el límite nutricional, en el cual existen garantías respecto a la alimentación de la población. Se producen alimentos y se obtiene agua hasta en las condiciones más adversas, por una parte, gracias al entendimiento del territorio y por otra gracias a la tecnología; el límite defensivo, la protección de las ciudades respecto

a las conquistas e invasiones producto de la codicia o necesidad de alimentarse hace parte del pasado, y las murallas son vestigios de una ciudad feudal; el límite del tráfico, las ciudades y el comercio crecen exponencialmente gracias al desarrollo de los medios de transporte como instrumento de desarrollo; el límite energético, el hombre aprovecha y manipula las energías renovables y no renovables del medio para poder subsistir e intervenir el contexto natural.

## Arquitectura adaptable y sostenible

Los edificios deberían suscitar y conformar ciudades que celebren la vida en sociedad y el respeto por la naturaleza. La necesidad actual de la edificación sostenible nos brinda la oportunidad de instaurar una nueva ambición y nuevos órdenes estéticos capaces de dar un empuje revitalizante a la profesión. Rogers Richard (2000).

Las ciudades han ido evolucionando a la par con el hombre, éstas se transforman y por lo tanto se adaptan a las nuevas necesidades. El hombre, en ocasiones consciente y en otras inconscientemente, ha modelado las urbes producto de las demandas sociales, en algunos casos con urgencia y en otros con cierta previsión.

La adaptabilidad como concepto en la arquitectura permite pensar, por una parte, en espacios que acompañen las dinámicas de cambio de la ciudad, y por otra, en el manejo sensato de recursos para ser usados en la construcción. Las dinámicas de cambio

a gran escala, establecidas por la ciudad, se ven reflejadas en los pequeños espacios de los cuales participamos a diario. Los edificios, responsables de la silueta de las ciudades son entes complejos que permiten las actividades y el libre pensamiento del hombre, son testigos de la historia y hacen evidentes los avances tecnológicos del momento.

De esta manera los edificios, además de cumplir con su misión de hacer posible la habitabilidad, se convierten en objeto de estudio y testimonio del proceso evolutivo. La condición de adaptabilidad siempre ha acompañado a la arquitectura; sin embargo, es importante precisar dos tipos, la adaptabilidad pasiva, de la cual participan los espacios cuya flexibilidad espacial permiten diferentes usos, y la adaptabilidad activa, en donde se involucra el movimiento y la retroalimentación como elementos que complementan la flexibilidad espacial.

Desde el Grupo de Investigación en Estructuras Adaptables, GEA, la preocupación edilicia está planteada desde la adaptabilidad activa, aplicada a diferentes usos y escalas; respecto al entorno. La inquietud se sustenta en el manejo de energías renovables que sin duda son la preocupación de primer orden en la arquitectura sostenible.

Nuestras propuestas conjugan la flexibilidad espacial con las necesidades de uso y del clima, permitiendo soluciones adaptativas a situaciones adversas. Flexible y en movimiento, en este caso no son un problema estético, tienen su origen en la técnica como posibilidad de exploración espacial y como respuesta a una sociedad que se muestra en cambio constante. Es importante conciliar

la técnica con el medio ambiente y el entorno sociocultural, para que las respuestas sean de fácil apropiación y dominio, es necesario propiciar diseños participativos donde las comunidades tengan un espacio para ser atendidos como seres humanos y no sólo como clientes. Es urgente pensar que los edificios hoy en día deben construirse preparados para múltiples funciones, salvo en casos donde la especificidad del uso obligue instalaciones especiales radicales.

En nuestro contexto inmediato, acabamos de despertar de nuestra situación de letargo, pensando que somos colonizadores de un territorio virgen; nuestra vida urbana nos obliga hoy en día a tomar conciencia respecto al uso adecuado de energías renovables y procesos constructivos más limpios. Éstas acciones deben ser políticas, sustentadas dentro de un marco legal, que esperamos no llegue tarde a un proceso que lo necesita con inmediatez e intervenciones de fondo. Surge entonces una pregunta, ¿cuáles son las herramientas con las que contamos profesionalmente para asumir la responsabilidad de construir un entorno más saludable?

Si bien es cierto que la movilidad es uno de los problemas más evidentes en capitales como Lima, Bogotá D. C., México D. F., o Sao Paulo, no debemos olvidar que la sostenibilidad comprende aspectos físicos y socioculturales, y estos son dos elementos garantes de una vida en sociedad, a largo plazo.

Proyecto Espacios Recreativos para el Centro de Bogotá, Laura Pinilla.



En nuestra disciplina, quedan pendientes directrices precisas respecto al manejo de materias primas y energías renovables, análisis del ciclo de vida de los materiales y su impacto ecológico, manejo de residuos y construcción de una cultura ambiental respetuosa del territorio que habitamos. Mientras lo anterior no suceda, seguiremos construyendo y destruyendo al mismo tiempo. Esa es la manera tradicional, más eficiente que tenemos para progresar.

Otro problema, a gran escala, que aqueja el desarrollo de las ciudades es la vivienda, como necesidad prioritaria en la construcción de entornos dignos y saludables para poblaciones con desventajas económicas. Ante esta situación son pocas las políticas estatales que espacializan de manera efectiva las necesidades de habitar dignamente, la mayoría de éstas se concentran en subsidiar de manera paliativa dificultades superficiales. A lo anterior se le debe sumar el cambio climático, del cual somos objeto; en algunas comunidades existen grandes problemas de migración hacia la ciudad, producto de la violencia y en busca de mejores oportunidades.

Tenemos como resultado, ciudades con cinturones de pobreza que amenazan la sostenibilidad y generan otras escalas de violencia urbana, territorios que nadie visita porque son las espaldas urbanas; en estos espacios las necesidades básicas son insatisfechas, y sobrevivir es la única opción. ¿Cómo empezar a dar solución a esa problemática, que en poco tiempo puede ser una dificultad más difícil de solucionar? ¿Cuáles son las estrategias que debemos adoptar desde la arquitectura para garantizar una vida digna y en comunidad?

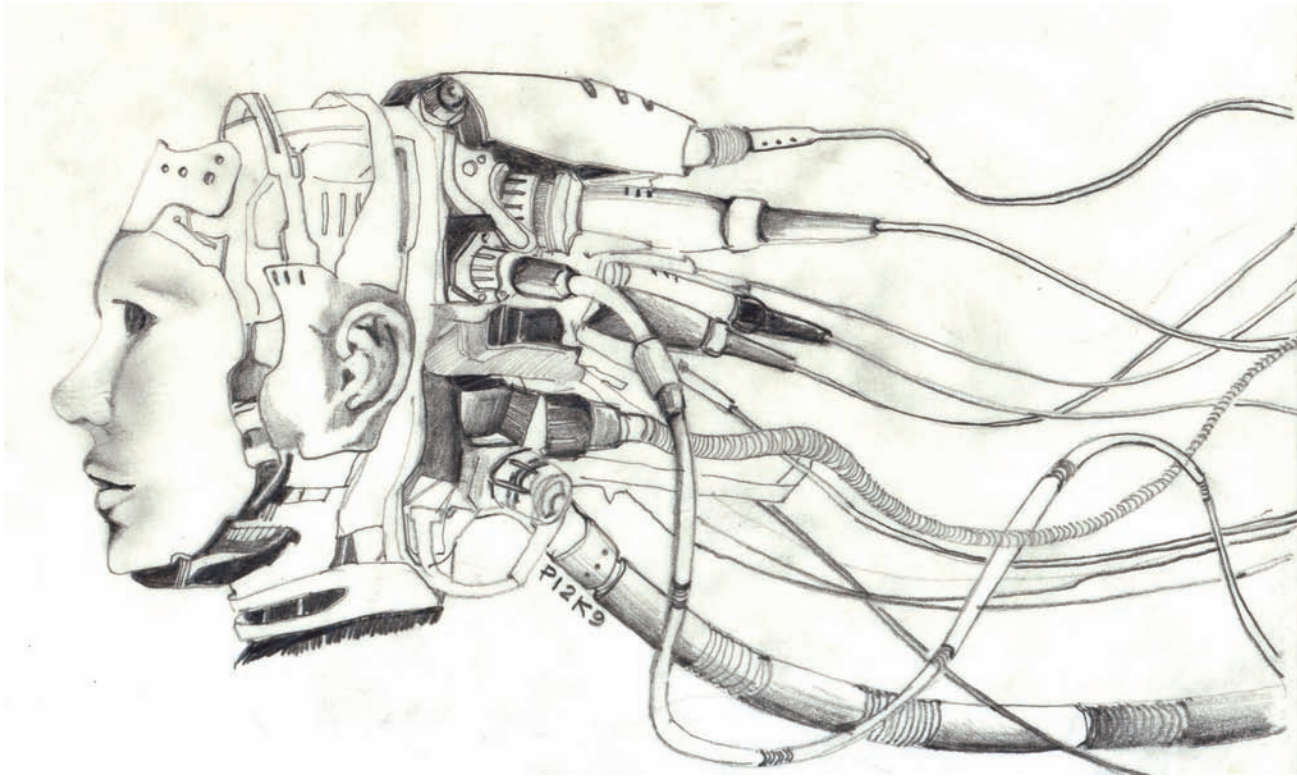


Es evidente que la arquitectura es parte de la solución, pero el problema involucra otros campos, donde la economía y la política juegan papeles decisivos. Luego debemos proyectar una arquitectura más saludable, producto de discusiones efectivas con nuestros entornos inmediatos, donde el dominio de las energías renovables sea exitoso y la construcción se haga cada vez más "limpia". Estamos en la obligación de propiciar estudios que produzcan estándares y normas, que precisen condiciones mínimas de habitabilidad e impidan la posibilidad de pensar edificios que caduquen con la inauguración.

## La tecnología redentora

Norbert Wiener, padre de la cibernética, la ubica como ciencia autónoma en el control de procesos relacionados, producto de la retroalimentación de información. Es importante precisar que la palabra cibernética, proveniente del griego κυβερνήτης (kybernetes) que significa: "El arte de pilotar un navío"; poca o ninguna relación estructural sostiene con la robótica o la maquinaria, sin embargo, es bueno pensar que los modelos de experimentación son para la cibernética herramientas valiosas de comprobación.

En nuestro caso entendemos la cibernética como disciplina en donde la retroalimentación de diversas condiciones permite proporcionar respuestas adaptativas en entornos inmediatos. Esta perspectiva nos permite establecer una relación con la llamada "inteligencia artificial", IA, donde lo importante es reproducir movimientos, en los que intervengan el proceso de pensamiento, superando de esta manera el simple hecho de moverse.



*Cyborg.* Con el devenir de los avances tecnológicos que actualmente enfrenta la sociedad globalizada, es frecuente que poco a poco se asignen ciertas actividades propias del ser humano a la máquina.

Se pueden identificar dos clases de IA, la inteligencia artificial fuerte, que consiste en construir *software* que emule el comportamiento humano, desde su dimensión creativa, pasando por problemas de aprendizaje e inteligibilidad. Lo anterior basado en la posibilidad de sustentar algorítmicamente los estados mentales; y la inteligencia artificial débil, ésta construye prototipos que tengan comportamiento inteligente, pero la simulación o no de las

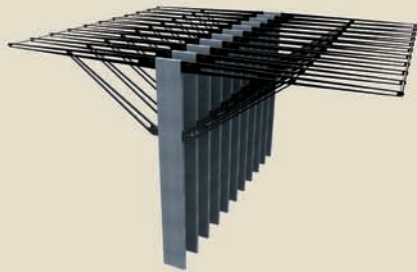
conductas humanas no son la prioridad. La arquitectura tiene a su disposición estas herramientas que colaboran en la concepción de edificios, donde la preocupación por el medio ambiente y la cantidad de energías necesarias para su funcionamiento, guían la proyección. ¿Cómo apropiarse esta tecnología en la construcción de una arquitectura adaptable, y hasta qué punto, estos instrumentos garantizan la construcción de espacios sostenibles?

En el contexto nacional, estamos distantes de implementar la alta tecnología a nuestros procesos de diseño y construcción, en parte porque el factor económico juega un papel importante en el momento de invertir en un edificio que resuelva, a largo plazo, problemas ambientales. Pero el obstáculo más grande es producto de nuestra cultura de la inmediatez, además del mercado inmobiliario en el que estamos inmersos, existen pocas probabilidades de pensar en un futuro saludable. Los gestores de los proyectos sustentan un discurso funcional, donde reducen los argumentos de la sostenibilidad a la mínima expresión, quedando en pie proyectos que impactan de manera negativa el medio en el que se desarrollan.

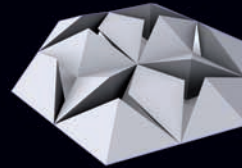
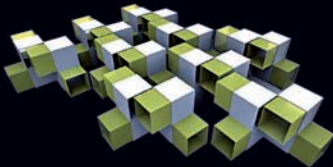
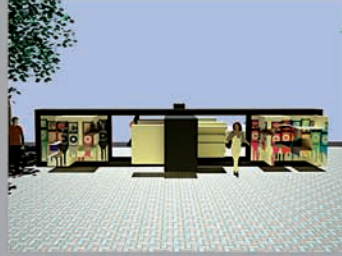
La primera forma de ir en contravía de los procesos sostenibles es desconocer las situaciones sociales que delimitan el hábitat cultural del territorio en donde se desarrollan los asentamientos humanos. Es urgente pensar en tecnologías pasivas que disminuyan el consumo energético, y que procuren incorporar los ciclos de consumo de energía y producción de residuos de los edificios que cada vez son más elevados.

Las ventajas que brindan las empresas inmobiliarias, en la ciudad, están relacionadas únicamente con metros cuadrados de zonas verdes y espacios de recreación complementarios a la vivienda. Pero ninguna empresa en nuestro contexto le apuesta a vender un proyecto en donde el *plus* sea su bajo consumo energético, el reciclaje de residuos y no un gimnasio. ¿Qué debemos esperar entonces para que participemos de la tecnología en la construcción de un entorno favorable?, y por último, ¿cuál es nuestro compromiso como profesionales en el proceso de construcción de las ciudades?









UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO

[www.utadeo.edu.co](http://www.utadeo.edu.co)