

# Hacia la Adaptabilidad en Sistemas Robóticos de Construcción

Towards Adaptability in Robotic Building Systems

**M.Arch. Ubaldo Arenas Alvarez del Castillo**

Tecnológico de Monterrey, México

ubaldo.arenas@gmail.com

**Dr. José Manuel Falcón Meraz**

Tecnológico de Monterrey, México

manuel.falcon@itesm.mx

## Abstract

This article explores the concept of adaptability within the built environment, extending the feedback and inter-communication characteristics of parametric design into construction processes and the material components of contemporary buildings; providing a conceptual and contextual framework, it also describes several strategies explored to achieve such type of communication.

**Keywords:** Arquitectura adaptable; Sistemas reconfigurables; Simulación de sistemas constructivos.

---

## Introducción

En la actualidad nos enfrentamos a cambios programáticos cada vez más rápidos y la sociedad demanda nuevas actividades las cuales eventualmente derivan en nuevas tipologías espaciales. Cuando en siglos pasados las edificaciones y sus funciones absorbían los cambios generacionales en la sociedad, hoy en día, los cambios programáticos suceden varias veces dentro de una misma generación haciendo la adaptabilidad de los edificios un concepto fundamental a abordar para la arquitectura contemporánea, a su vez generando preguntas como: ¿Cuál es el significado de 'adaptabilidad' en el ambiente edificable?, ¿Qué medios materiales hacen posible la adaptación en la arquitectura?, ¿Con qué velocidad deben suceder dichas transformaciones?, ¿Cómo será la participación del arquitecto dentro del proceso de diseño para un espacio adaptable?

Desde las dos últimas décadas del siglo pasado los procesos digitales han transformado la forma en que se lleva a cabo el diseño dentro de la práctica arquitectónica, actualmente los procesos paramétricos dentro del ambiente de diseño han comenzado a abrirse campo dentro de academias y prácticas profesionales globalmente, modificando la forma en la que se genera y controla el diseño.

Dichas herramientas paramétricas de diseño serán nuestro punto de partida; en el caso de los ambientes BIM (Modelos de Información Edificables) por ejemplo, este set de herramientas basa su operación en la parametrización de conceptos constructivos y en la generación de las relaciones informativas entre los diferentes componentes virtuales. Los diseños y espacios desarrollados dentro de los ambientes digitales previamente descritos han denotado un aumento en la efectividad,

adaptabilidad y el control del proyecto desde las etapas de conceptualización hasta las fases de producción de documentos técnicos-ejecutivos para su construcción, es en la materialización del proyecto en donde presenciamos una rigidización de los procesos constructivos y la solidificación del edificio resultante contra interacciones dinámicas: naturales, humanas, urbanas, e inclusive inter-sistémicas.

Esta discontinuidad y desconexión informativa presenta el campo de acción de nuestra investigación. El siguiente artículo sirve como introducción de nuestra línea de investigación dentro de la comunidad académica latinoamericana presentando el marco de trabajo de nuestro grupo de investigación, el cual se encuentra orientado en general al desarrollo de tecnologías que respondan a la incursión inminente de la robótica dentro de la industria de la construcción; específicamente dentro de este trabajo se presenta un modelo de comunicación que responde a dos cuestionamientos: en primer lugar, que tipos de adaptabilidad pueden presentar los sistemas y procesos constructivos robóticos una vez que la edificación es operacional, y en segundo, a la forma en la que se podrían llevar a cabo las comunicaciones entre dichos elementos.

El siguiente trabajo está dividido en tres secciones en la primera parte establecemos el marco teórico donde exploramos el concepto de adaptabilidad y los retos que presenta su traslación hacia el ambiente arquitectónico contemporáneo en la segunda parte describimos la importante participación de la robótica y su desdoblamiento a lo largo de las diferentes etapas de la vida de una edificación; en la tercera sección presentamos las estrategias utilizadas para abordar el reto de proveer a los sistemas robóticos

de performance con un sistema de instrucciones que presente propiedades de adaptabilidad; concluyendo con la presentación del concepto de geometría binaria así como de los alcances y proyecciones para las siguientes etapas de esta nuestra investigación.

## **Adaptabilidad Biológica**

La propiedad de adaptabilidad es un concepto extraído del campo de la biología que define una propiedad intrínseca de los seres vivos la cual se compone de diferentes características como la reproducción, crecimiento, decrecimiento, la regeneración y la mutación. Dicha propiedad depende, según Tibor Gánti (2003), en gran medida al estado físico en el que se encuentra, Gánti describe a los seres vivos como máquinas fluidas ya que es el estado líquido, aunado a un flujo de energía a través del mismo, el cual permite constantes permutaciones geométricas entre los componentes de información química (ADN) funcionando como un motor de posibilidades. Otra de las características que son primordiales según Gánti (2003) para el funcionamiento de los seres vivos es la propiedad de las reacciones auto-catalíticas que se llevan a cabo dentro de organismos vivientes, donde los productos de dichas reacciones sirven como catalizadores de la misma (estas reacciones se combinan formando ciclos en una especie de retro-alimentación química) en donde las concentraciones resultantes exhiben oscilaciones que mantienen la actividad en una especie de péndulo químico. Aunque la translación literal de las características de adaptabilidad biológica hacia el ambiente edificable no sea una realidad plausible hoy en día, podemos extrapolar cuan beneficiosa las características inherentes a este concepto representarían para un espacio: su crecimiento, reconfiguración, auto-reparación, duplicación.

## **Arquitecturas Adaptables**

Desde principios del siglo pasado el modernismo abordó de manera tangencial la adaptabilidad espacial al implementar conceptos arquitectónicos como la modulación, la planta libre, y la producción en serie; produciendo espacios con propiedades de reprogramación que de manera estática absorbieran cambios en las necesidades de los usuarios y elevando la jerarquía de la eficiencia funcional del espacio, llegando a establecer analogías con maquinarias como las establecidas por Le Corbusier (1921) en su tratado *Towards a New Architecture*. Ejemplos contemporáneos como la impresión en 4D a gran escala de Skylar Tibbits (2013) utiliza módulos con geometrías pre-programadas para la auto-generación de nuevas configuraciones entre los componentes, introduciéndolos dentro de un motor de permutaciones en la forma de una jaula pivotada sobre un eje la cual reemplaza al estado líquido donde la energía cinética aplicada al girar la jaula genera múltiples situaciones geométricas, permitiendo que los módulos se unan entre sí para formar componentes de mayor complejidad. Otras exploraciones aventuradas dentro del campo de la bio-mímica como el trabajo desarrollado por David Benjamin y el *Columbia Living Architecture*

*Lab* proponen el uso de bacterias y microorganismos al aprovechar sus restos y desechos para generar y reparar estructuras.

La arquitectura se manifiesta últimamente en su mayor parte mediante componentes sólidos y semi-sólidos cumpliendo su función como mediadora entre el ser humano, sus actividades y el ambiente externo; dichos estados nos presentan una realidad que obstaculiza la obtención de las propiedades inherentes a la adaptabilidad tan deseables para una edificación contemporánea. Para lidiar con este obstáculo nuestra investigación observa a la robótica como el campo de oportunidad que nos permite una manipulación espacial de estados sólidos y semi-sólidos a través de la combinación de tecnologías materiales, mecánicas y digitales.

## **Tecnologías Robóticas en la Construcción**

La incursión de la robótica dentro de procesos de manufactura en el siglo pasado ha proporcionado beneficios como la capacidad de diseñar procesos de producción masiva, mayor eficiencia en el uso de la energía y el incremento de la precisión en sus procesos derivando en altos niveles de control de calidad. Dentro de los campos de la arquitectura y la industria de la construcción la robótica ha incursionado lentamente y con una menor intensidad, aun así, hemos presenciado un aumento constante en el desarrollo e implementación de diferentes instrumentos y técnicas dentro del rubro; en este trabajo dividimos la utilización de dichas tecnologías dentro de la arquitectura en tres áreas dentro de la vida del edificio: el diseño, construcción y operación.

### **Diseño asistido por robótica**

Dentro del proceso de diseño, conceptos como la parametrización y el prototipado se han establecido en las últimas dos décadas con la finalidad de incrementar la efectividad de los diseños arquitectónicos al permitirnos poner a prueba múltiples iteraciones de un modelo. El proceso de parametrización de una solución espacial al igual que los modelos de matemática aplicada consiste en grandes rasgos en la traducción de conceptos arquitectónicos abstractos (como geometrías virtuales y propiedades materiales) en valores numéricos o parámetros, los cuales pueden ser modificados rápidamente por el diseñador, generando diferentes soluciones (en la forma de geometrías virtuales tridimensionales) que se encuentran relacionadas por la misma estructura lógica. La parametrización de las soluciones virtuales nos permite aplicar con eficacia concepto de prototipado con el uso de robots, en este caso las iteraciones exitosas son llevadas al mundo físico a través de la generación de modelos físicos a escala (prototipos). El proceso consiste en la traducción de las geometrías virtuales en códigos de control numérico los cuales son leídos por robots de prototipado (brazos robóticos, ruteadores CNC, cortadoras de láser y plasma, entre otros) los cuales con diversas técnicas generan ya sea modelos completos o componentes a escala para su ensamblaje, permitiéndonos una interacción física y sensorial con las diferentes soluciones que nos

ayudan a tomar decisiones y a detectar problemas de diseño con mayor eficiencia.

### **Construcción robótica de edificaciones.**

En la etapa de construcción del edificio las tecnologías robóticas se han implementado en su mayoría en los rubros de la fabricación y el ensamblaje, donde los procesos de prototipado han sido elevados a escalas industriales para la generación de componentes en escala real, a su vez recientes exploraciones de diversas empresas como Gramazio & Kholer han comenzado a involucrar a la robótica en procesos de ensamblaje de edificaciones.

### **Operación robótica en las edificaciones**

Para los casos en que las edificaciones están compuestas o incluyan sistemas robóticos intrínsecos observamos dos vertientes en las cuales estos sistemas participan en la operación del espacio: el *performance* funcional y el *performance* estético. El primero se concentra en metas específicas orientadas hacia la efectividad y optimización de procesos dentro del edificio como son el manejo de la energía, seguridad, mantenimiento y mejoras en las interacciones con las funciones humanas a albergar dentro del espacio. El *performance* estético por otro lado potencializa las interacciones sensoriales del usuario con el espacio, sus modificaciones y reacciones; trata de establecer relaciones emocionales a través despliegues dinámicos de materialidad e información como la pieza desplegada por Philip Beasley, *Hylozoic Grounds* (2010) en donde elementos ornamentales reaccionan produciendo ambientes dinámicamente estéticos.

Ante el panorama descrito previamente donde la robótica comienza a fungir papeles cada vez más importantes dentro de las diferentes etapas de la vida de las edificaciones, se presentan posibilidades y alcances deseables en cuanto a la importación de las propiedades que componen al concepto de adaptabilidad y que podrían ser benéficas tanto a la industria de la construcción como para la experiencia espacial del usuario. A su vez, existe una propiedad constante que conecta a todas las etapas antes descritas a pesar de las diferentes escalas técnicas y tipologías robóticas que se implementan; el lenguaje de información digital basado en códigos binarios que todos comparten y que se traslada para visualizar, simular geometrías virtuales, generar prototipos, fabricar componentes, establecer instrucciones de ensamblaje y plantear protocolos de comportamientos funcionales y estéticos.

### **El Estado Digital**

Las tecnologías digitales han sido catalizador de avances en todos los campos del conocimiento desde su creación y desarrollo a mediados del siglo pasado, las técnicas actuales de programación utilizan conceptos cada vez más abstractos y específicos que se han ido construyendo y adaptando a las necesidades de los diferentes mercados (simulaciones, entretenimiento, aplicaciones móviles, economía por nombrar algunos). Todas las modalidades de software comparten el lenguaje binario como base para la

construcción de sus instrucciones y para el almacenamiento de la información. La tecnología digital se presenta como un estado y el lenguaje binario como un medio que hace posible propiedades como la duplicación, el almacenamiento, la generación y la manipulación de información. Es dentro de este imaginario digital en donde hemos establecido diferentes experimentos que abordan los temas de adaptabilidad de comportamientos robóticos dentro de las diferentes etapas de la vida de una edificación, su proyección y análisis, su fabricación, ensamblaje, y operaciones funcionales y estéticas.

### **Estrategias de Comunicación Adaptable**

Es importante denotar que los experimentos comprendidos en esta línea de investigación asumen la participación activa de diferentes tecnologías robóticas dentro de los procesos de diseño, construcción y operación de las edificaciones; en donde los componentes robóticos de la edificación que contienen propiedades dinámicas de *performance* funcional y estético, incluyen unidades de procesamiento lógico que les permiten realizar operaciones independientes y comunicarse entre sí.

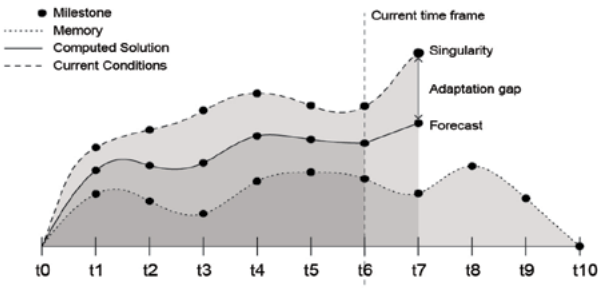
El objetivo de nuestros experimentos es el de dotar al sistema que controla los mecanismos de *performance* funcional y estético con la capacidad de adaptarse a cambios en el ambiente externo y hacia las diferentes interacciones con los usuarios.

El aprendizaje no supervisado es una técnica dentro del campo de 'aprendizaje de las máquinas' el cual trata de encontrar patrones dentro de bancos de datos sin recibir un castigo o un premio, en este caso la máquina no identifica la validez del resultado de las tareas asignadas, nuestros primeros experimentos caen dentro de este campo el cual ayuda a las máquinas a aprender rasgos muy generales de un ambiente, similar a los procesos cognitivos de los bebés en donde se reconocen patrones generales mas no se tiene una comprensión de fenómenos más abstractos. Existen diferentes técnicas que se han desarrollado para abordar este tipo de aprendizaje estimación estadística, las redes neuronales, *data mining*; nuestros experimentos caen en este primer nivel de aprendizaje en donde los sistemas reaccionan a la información obtenida del ambiente, del usuario y de experiencias previas, para lograr una adaptación en sus comportamientos y últimamente reaccionar con mayor efectividad.

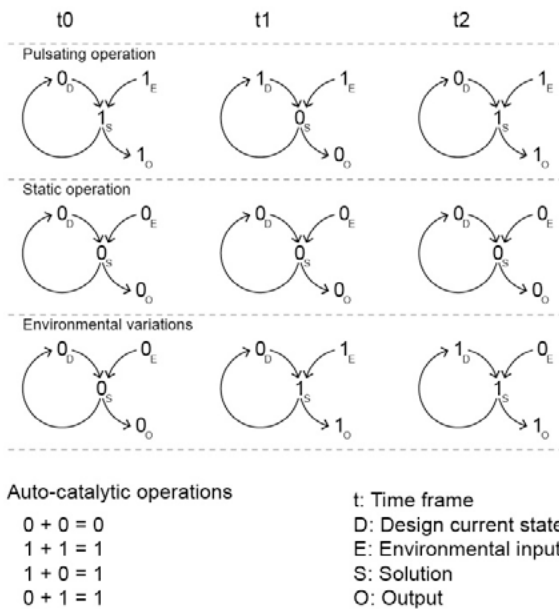
### **Estimación estadística**

Nuestro primer experimento presentado en CAADRIA 2013 (Arenas, 2013) utilizó estimación estadística para guardar experiencias previas del sistema de *performance* y utilizar dichas experiencias para retroalimentar las reacciones futuras, aunque las primeras generaciones se beneficiaban de la información almacenada en la memoria y que se retroalimentaba en el proceso de cómputo una desventaja se genera con este tipo de enfoque; la eventual normalización de la memoria la cual reduce la posibilidad de reacciones hacia singularidades en el ambiente. Este experimento nos ayudó a replantear el concepto que perseguimos

para alcanzar esa adaptación de comportamiento en el performance (Fig. 1).



**Figure 1:** Representación de la pérdida de reacción hacia una singularidad debido a la normalización dentro de un sistema de simple estimación estadística. SIGraDi 2013.

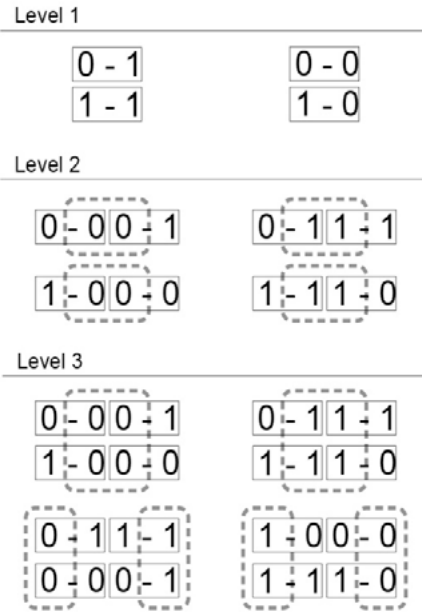


**Figure 2:** Comportamiento de operaciones auto-catalíticas utilizando medios binarios. SIGraDi 2013.

### Mapas binarios

El segundo enfoque tomó como referencia el trabajo de Tibor Gánti sobre el *Chemoton*, organización química artificial que presenta todas las propiedades de un organismo vivo (Gánti, 2003, p. 3); donde planteamos un sistema de información basado en mapas binarios presentado y descrito a mayor profundidad en ACADIA 2013 el cual aprovecha las propiedades del estado digital descritas anteriormente para generar un ciclo de información que contiene las instrucciones para el *performance* de un sistema robótico. Dichas instrucciones son computadas utilizando una serie de operaciones con propiedades auto-catalíticas; de esta forma observamos que parte de las instrucciones del sistema reaccionan pulsando (Fig. 2), en donde los resultados saltan de

estado como las concentraciones de las reacciones auto-catalíticas de Beluzov (1959), estas partes inestables del mapa binario son después filtradas dejando las partes estables como el resultado solidificado de la interacción.



**Figure 3:** Diagrama que representa diferentes niveles de complejidad al permutar geoméricamente estructuras de información binaria.

### Geometrías binarias

Actualmente nos encontramos abordando la exploración del concepto de geometrías binarias, un conjunto de reglas de acoplamiento que permitan la construcción de estructuras de información de mayor complejidad al correr procesos permutativos sobre cadenas de información digital (Fig 3). Utilizando como referencia los mecanismos utilizados para la construcción de cadenas genéticas de información en donde la geometría de los compuestos es una característica de suma importancia para permitir propiedades como la reproducción y la mutación de estos sistemas de memoria química.

### Conclusiones

Aunque los resultados de las pruebas son abstracciones de metas de mayor especificidad para su aplicación directa en la arquitectura contemporánea, los alcances plausibles para la aplicación práctica de protocolos adaptables de comunicación que operen entre sistemas constructivos nos dejan vislumbrar la continuidad en el diseño. La noción de una labor de diseño extendida al dotar al arquitecto con la posibilidad de influenciar el resultado físico de la edificación durante su construcción y su vida operacional; a su vez nos presentan una visión en donde los edificios así como los robots que participan en su diseño y construcción desarrollen comportamientos que se adapten de mejor manera a las situaciones cambiantes de la realidad humana

## References

- Arenas, U., Falcón, J.M. (2013). ALOPS Constructive Systems – Towards the Design and Fabrication of Unsupervised Learning Construction Systems. Open Systems: Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on computer – Aided Architectural Design Research in Asia, 905-914.
- Brooks, R.A. (1991), Intelligence without representation: Artificial Intelligence. 47(1), 139-159.
- Hensel, M. (2011). Performance-Oriented Architecture and the Spatial and Material Organisa-tion: Rethinking Definition, Role and Performative Capacity of the Spatial and Material Boundaries of the Built Environment. FORMakademisk. 4(1), 3-23.
- Salingaros, N.A., Masden II, K.G. (2006). Architecture: Biological Form and Artificial Intelligence. University of Texas at San Antonio. The Structurist, 54-61.
- Kolarevic, B., Malkawi, A. (2005). Performative Architecture: Beyond Instrumentality.
- Corbusier, L. (1946). Towards a New Architecture. Architectural Press, London.
- Gánti, T. (2003). The Principles of Life. Oxford University PR.
- Cherkassky, V., Mulier, F. M. (2007) Learning from Data: Concepts, Theory, and Methods (2nd Ed.). Wiley-IEEE Press