



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

ARQUITECTURA CINÉTICA INTERACTIVA
POR MEDIO DE RECONOCIMIENTO DE GESTOS

TESIS

Que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura

Presenta

Dylan Andrade Sánchez

DIRECTOR DE TESIS:

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Facultad de Arquitectura, UNAM

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura UNAM

COMITÉ TUTOR:

Dra. Genevieve Lucet Lagriffoul

Facultad de Arquitectura, UNAM

Instituto de Investigaciones estéticas, IIE-UNAM

Dr. Bruno Lara Guzmán

Centro de Investigación en Ciencias, CInC-UAEM

Dr. Carlos Alfredo Bigurra Alzati

Facultad de Arquitectura, UNAM

Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz

Facultad de Arquitectura, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. , Junio del 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SISTEMA CINÉTICO INTERACTIVO

POR MEDIO DE RECONOCIMIENTO DE GESTOS



SISTEMA CINÉTICO INTERACTIVO

POR MEDIO DE RECONOCIMIENTO DE GESTOS

Tesis que para obtener el grado de Maestría en Arquitectura
presenta: **Dylan Andrade Sánchez**

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura UNAM

Ciudad de México, Junio del 2016



Director de Tesis Mtro. Francisco Reyna Gómez

Sinodales:

Dra. Genevieve Lucet Lagriffoul
Dr. Bruno Lara Guzmán
Dr. Carlos Alfredo Bigurra Alzati
Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres, por permitirme gozar la vida, impulsarme a defender mis creencias y el apoyo a mis búsquedas por la vida. Por haber sido determinantes para que esta tesis se pudiera realizar. A mi padre, por su cariño, felicidad y humor con los que siempre me apoyó en cualquier cosa que quise. Por sus consejos, enseñanzas y paciencia. Por darme la posibilidad de seguir mis sueños. A mi madre, por su cariño incondicional y su apoyo en los momentos difíciles.

A Alejandra Ciria, por darme amor, cariño y hacerme feliz. Por sus enseñanzas y discusiones que han aportado mucho a este trabajo.

A Ricardo Ciria y Fanny Fernandez-Varela, por su cariño y ayuda para desarrollarme como una mejor persona en la vida.

A Francisco Reyna, por sus consejos, paciencia y guía, que fueron determinantes para el desarrollo de la investigación.

Al laboratorio de Robótica Cognitiva en la Facultad de Ciencias de la UAEM, principalmente a Bruno Lara, por su apoyo para el desarrollo de esta tesis. A Javier Vargas, por su ayuda en el aprendizaje y desarrollo de los programas para el desarrollo de la investigación, así como a Esaú Escobar por sus consejos y correcciones.

A la UNAM, al Posgrado de Arquitectura, a la Facultad de Arquitectura, al Instituto de investigaciones históricas y a la FES Aragón, por darme la posibilidad de mejorar y desarrollar mis capacidades personales y profesionales.

A CONACYT por darme la posibilidad de desarrollar una investigación y estudiar una maestría.

Contenido

Introducción

Capítulo 1: La Arquitectura Flexible 1

- 1.1 Una Arquitectura Móvil 3
- 1.2 Una Arquitectura Activa 4
- 1.3 La Arquitectura Metabolista 7
- 1.4 Los Situacionistas 8
- 1.5 La Arquitectura Cibernética 11
- 1.6 Arquitectura Responsiva 15

Capítulo 2: Posturas contemporáneas de la arquitectura central en el habitante 21

- 2.1 Arquitectura Interactiva 22
- 2.2 Arquitectura Adaptativa Corporizada 31
- 2.3 Tipología del cambio de forma 36

Capítulo 3: Arquitectura interactiva por medio de gestos 41

- 3.1 Adaptabilidad 43
- 3.2 Elección de los habitantes 46
- 3.3 *Affordances* 48

- 3.4 Un lenguaje corporal para una arquitectura cambiante 50
- 3.5 Reconocimiento de gestos por medio de redes neuronales artificiales(SOM). 53

Capítulo 4: Experimentación con una Arquitectura interactiva por medio de gestos 64

- 4.1 El sistema cinético interactivo 64
- 4.2 Instrumentos y especificaciones 65
- 4.3 selección de gestos 71
- 4.4 Captura de gestos 73
- 4.5 Procesamiento de datos e implementación del SOM 74
- 4.6 Prototipo 78

Resultados y conclusiones 86

Bibliografía

Introducción

La búsqueda de una arquitectura cambiante, es una reflexión del contexto en el cual vivimos y trabajamos. Una fase de cambio cada vez mayor es lo que define la vida contemporánea: socioeconómica, política, cultural y de manera particular, el contexto tecnológico está cambiando constantemente, alternando las normas, costumbres y expectativas, influyendo en como usamos y nos relacionamos con el espacio. Un ambiente que cambia rápidamente exige una arquitectura que se pueda adaptar rápidamente (Kolarevic. 2009).

Hasta recientemente la arquitectura como campo de diseño ha sido dominada por los principios de diseño de permanencia y de estática. Pero en años recientes, la introducción de nuevas tecnologías computacionales en arquitectura ha conducido a la posibilidad de diseñar arquitectura con cualidades no estáticas (Bolbroe, 2016). Este tipo de arquitectura flexible o activa se ha desarrollado mayormente para crear ambientes responsivos que facilitan el comportamiento y transitoriedad de sus habitantes, sus necesidades biológicas, las condiciones ambientales, generar confort, comunicar información, comunicar emociones, generar recreación, con fines estéticos y para ser capaz de transportarse de manera portátil. Sin embargo, a pesar de que algunas ideas proponen que los habitantes obtengan cierta influencia en el cambio morfológico de la arquitectura y que en algunos casos se ha implementado por medios análogos o manuales, no se toma en cuenta que el ser humano cambia constantemente (físicamente, gustos, intereses, tipo de vida, etc.) y que cada persona es diferente. Asimismo, no existen propuestas que permitan por medios digitales que los habitantes puedan hacer elecciones personales. Tomando en cuenta lo anterior, surgen preguntas sobre la importancia y la manera en que se podrían incorporar las elecciones de los habitantes a la arquitectura activa y que aspectos tendría que tener la materialidad del objeto arquitectónico para permitir que se generen muchas posibilidades formales por medio de la elección de los habitantes. Además, hasta qué punto los usuarios pueden influir sobre las elecciones de los arquitectos y diseñadores de los espacios y hasta qué punto los usuarios están limitados por sus

decisiones. Dicho esto, para la investigación se consideró que si se implementa un medio para posibilitar la elección de aspectos formales de la arquitectura activa por parte de los habitantes, se generará un lenguaje que permitirá que se creen múltiples opciones espaciales, que se tengan mayores posibilidades de acción, que los espacios se personalicen y por ende que la arquitectura activa aumente su capacidad adaptable. Ante esto, se propone el desarrollo de un medio digital que genere un lenguaje corporal entre los habitantes y la arquitectura activa, compuesto por un sistema interactivo que reconozca distintos gestos de los usuarios y un prototipo que reaccione ante los gestos modificándose formalmente y represente un elemento arquitectónico flexible.

En el primer capítulo de la investigación, se tratan las propuestas que han generado una arquitectura flexible por medio de una arquitectura cambiante que busca un vínculo con sus ocupantes. Primero se describen las cualidades del manifiesto futurista y los inicios de la arquitectura móvil. Después, se describen la arquitectura activa y el Metabolismo con sus ideas sobre el cambio formal para adaptar la arquitectura y las ciudades al usuario en un determinado ambiente. Más adelante, se detalla el Situacionismo y su concepción de una arquitectura indeterminada a partir de la participación del usuario. Luego, se continúa con la arquitectura cibernética y los inicios de la implementación de sistemas computacionales en la arquitectura y se finaliza el capítulo con la arquitectura responsiva en donde se expone su visión así como ejemplos de estos tipos de edificios contemporáneos. Posteriormente, en el segundo capítulo se profundiza en posturas recientes como la arquitectura interactiva y la arquitectura adaptativa corporizada en las que se toma en cuenta la influencia del usuario por medio de la interacción humana y corporal. Se explican sus propósitos y se analizan por medio de las tipologías del cambio de forma propuestas en las interfaces digitales. En el tercer capítulo, se describen las consecuencias que se esperan obtener al implementar la elección formal de la arquitectura activa por medio de interacción con gestos. Dentro de estas consecuencias, se explica que la elección es un aspecto necesario para lograr la adaptabilidad, ya que aumenta los *affordances* y permite que por medio del cuerpo se hagan elecciones intuitivas. Además, se describe la relación del cuerpo humano con la arquitectura y se integra la descripción de redes neuronales que se proponen como medio digital para la implementación de gestos. Así, ya con el conocimiento de los antecedentes,

las características y motivaciones de la arquitectura activa y con las intenciones de la propuesta en el cuarto capítulo se describen a detalle la propuesta experimental: los instrumentos, la selección de los gestos, el procedimiento para su reconocimiento y las características del diseño del prototipo. Finalmente se abordan las pruebas realizadas con la propuesta experimental, así como los resultados y las conclusiones obtenidas.

1. La Arquitectura flexible

Los elementos no estáticos en la arquitectura siempre han estado presentes, en el sentido que cada habitante remodela su entorno físico a través del proceso de habitación: tal vez agregando un cobertizo o derribando un muro. La aldea cambia a través del tiempo para satisfacer nuevas demandas, mientras que en general el desgaste afecta la apariencia del entorno construido. Además, por un largo periodo de tiempo el estilo de vida nomádico era y todavía es, una forma común de habitar espacios en ambientes que cambian continuamente a través de la movilidad (Kronenburg, 2007)

Cada vez es mayor la intención de ajustar los espacios arquitectónicos a las necesidades de los habitantes por medio de modificaciones formales. Estas intenciones, se han ido desarrollando a través de distintos movimientos y visiones de arquitectos, artistas y diseñadores entre otros, acercándose cada vez más a una arquitectura individualizada. Sin

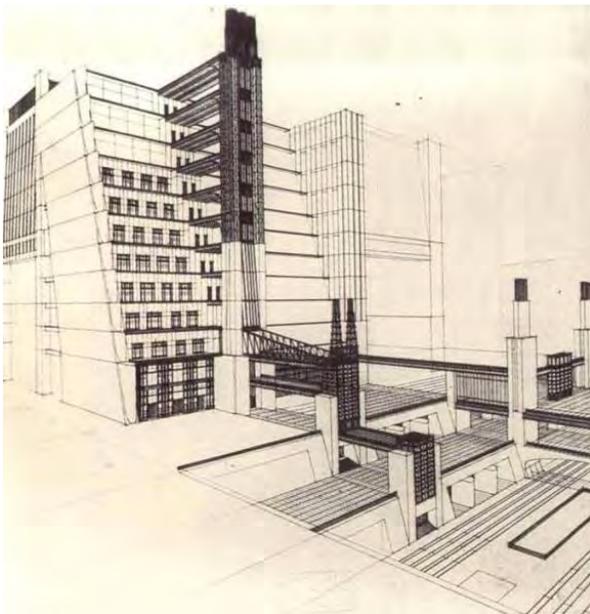


Figura 1. La Casa a Gradinata, incluido en el Manifiesto de la Arquitectura Futurista. “The work of Sant’Élia: retreat into the future“(p.105), Da costa Meyer, E. 1995, EEUU. Yale University Press.

embargo, a pesar de que los orígenes de esto objetivos partieron de la necesidad de movilidad de la población como un medio para adaptarse a distintos lugares o regiones, sólo una pequeña cantidad de proyectos se han desarrollado a nivel experimental y otros pocos se han edificado hasta el momento.

. La idea de que la arquitectura podía cambiar para adaptarse y tener un comportamiento similar al de una máquina, se documentó a partir del movimiento Futurista, cuyas bases se fundaron por el

poeta Filippo Tommaso Marinetti en el *Manifiesto Futurista*. La visión de Marinetti, atraído al arquitecto y urbanista Antonio Sant'Elia, influenciándolo para integrar estas ideas a la arquitectura, dando como resultado el *Manifiesto de Arquitectura Futurista* en 1916. Este documento, estaba estructurado en distintos puntos que trataban sobre cómo debía ser la arquitectura del futuro, cómo debía concebir su imagen, materialidad y estética, entre otras cosas (Figura 1). Estas ideas, además de que fueron un preámbulo de lo que sería el modernismo en la arquitectura, también subrayaban que el carácter fundamental de la arquitectura futurista sería la caducidad y la transitoriedad, ya que consideraban que las viviendas durarían menos que los habitantes, por lo que cada generación tendría que fabricarse su propia ciudad. Así, esta constante renovación del ambiente arquitectónico contribuiría a lograr las metas del movimiento futurista (Sant'Elia, 1914). Esta visión, influyó las concepciones que se generarían posteriormente dentro de la arquitectura flexible buscando adaptarse y renovarse a los cambios temporales de los habitantes de un determinado lugar.

Después, en 1920 Buckminster Fuller diseñó la casa *Dymaxion* (Figura 2), siendo este uno de los primeros proyectos de arquitectura dinámica adaptable. Esta vivienda, pretendía solucionar la necesidad que había de vivienda por medio de su producción en masa, accesibilidad, facilidad de transporte y eficiencia ambiental. Dentro de sus cualidades, era calentada y enfriada por medios naturales, generaba su propia energía, no requería de mantenimientos periódicos y se podía modificar la planta arquitectónica fácilmente presionando los botones para hacer la sala más grande para las fiestas o como fuera requerida. Además, era resistente a tormentas y sismos y la ventilación de corriente descendente

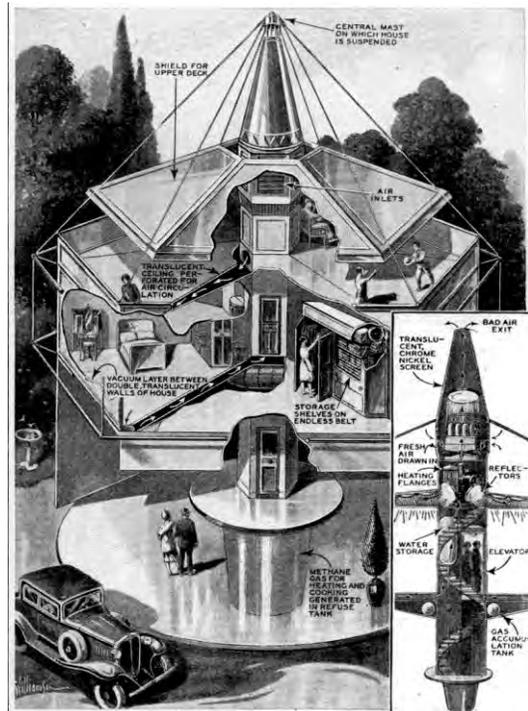


Figura 2. Casa Dymaxion. Corte isométrico esquemático de la idea original del diseño de la casa. Recuperado de <http://www.archdaily.mx/mx/02-288162/clasicos-de-arquitectura-la-casa-dymaxion-buckminster-fuller>

extraía el polvo de los zoclos a través de filtros que reducían la necesidad de aspirar y barrer (Baldwin, 1997). Sin embargo, la casa *Dymaxion* nunca fue construida en su totalidad, únicamente se fabricaron dos prototipos en 1946, la casa *Barwise* y la casa *Danbury*, que representaban cada una el interior y el exterior de la casa *Dymaxion*. Posteriormente William Graham generaría la casa *Wichita* retomando los principios de la casa *Dymaxion* en 1948.

Más adelante, en 1954 Walter Gropius en *Eight steps toward a solid architecture* haría referencia a una arquitectura adaptable, describiendo una arquitectura efímera que encarna el flujo de la vida y se acerca a la noción de impredecible e incerteza en la arquitectura, logrando la flexibilidad necesaria para absorber las características dinámicas (Bolbroe, 2016). En el futuro, estas cualidades que menciona Gropius, serían más evidentes

1.1 Una Arquitectura Móvil

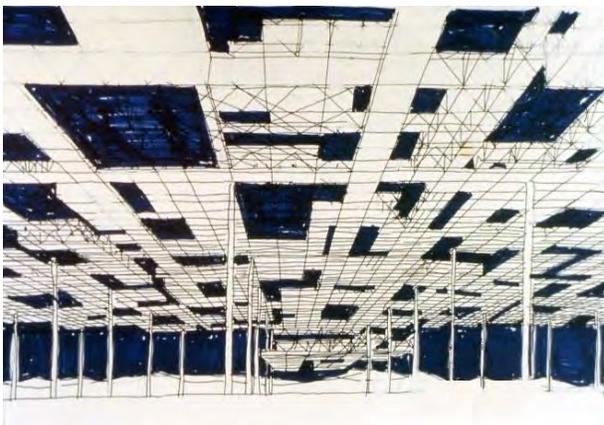


Figura 3. Ville Spatiale. Principios de la Villa, características de la retícula y la estructura.
Recuperado de <http://www.vonafriedman.nl/>

En 1956, el arquitecto y urbanista Yona Friedman expuso el *Manifesto de Arquitectura Móvil* en el Congreso internacional de arquitectura moderna (CIAM X), en el cual desarrollaba un sistema constructivo que permitía a los ocupantes determinar el diseño de sus propias viviendas. Éstas, se encontraban elevadas en un espacio de la ciudad, donde las personas pudieran vivir y trabajar, con

lo que se pretendía disminuir el uso de la tierra o terrenos en las ciudades crecientes. También, este proyecto abogaba por el desarrollo de una ciudad compacta y que se evitara demoler las partes viejas de la ciudad, para crear nueva vivienda (Van Vliissingen, s.f).

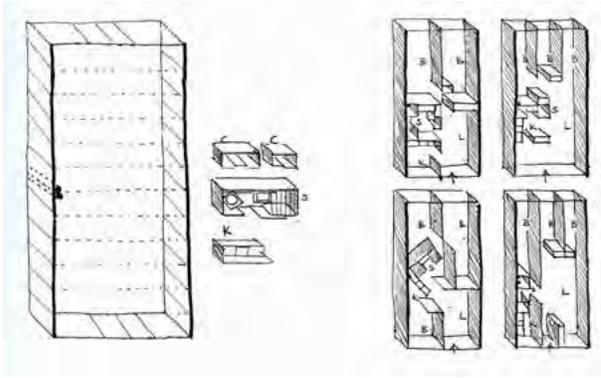


Figura 4. Movable boxes. Unidad básica, con dos extremos y dos muros divisorios. El ocupante puede definir su propia distribución. Recuperado de <http://www.yonafriedman.nl/>

Otro rasgo de la arquitectura móvil, era la flexibilidad, cuyo objetivo era aumentar la libertad de decisión del individuo, el uso del espacio de la ciudad de manera flexible y ofrecer control a los moradores, para dar un significado al ambiente (Diez principios de la arquitectura móvil). Para lograr esto, el arquitecto sería únicamente un instrumento para desarrollar los deseos

del usuario. Estos principios se reflejaron en la *Ville Spatiale* (Figura 3 y 4), para la cual se diseñaron varios métodos para que las personas pudieran crear y posicionar el espacio según la manera en que ellos quisieran vivir. La villa espacial, estaba compuesta por un esqueleto de estructura multicapa sobre pilares, que podían ser ajustados según se deseara y se encontraban dispuestos en intervalos de 40 a 60 metros albergando accesos y redes de facilitación. La base de esta retícula, era un módulo de 6 x 6 metros en el que se podían ubicar distintos tipos de funciones. Además, en el esqueleto había diferentes pisos suspendidos, con unidades de vivienda y unidades laborales que se podían colocar de manera aleatoria. Entre estas unidades había espacios libres, arreglados de tal manera que la luz natural llegara al suelo que se encontraba debajo. Más adelante, Friedman diseñó manuales y hasta un programa de computadora llamado *Flatwriter* con distintos métodos de elección para que los habitantes de la Villa Espacial pudieran crear y posicionar las viviendas donde ellos quisieran vivir. El programa permitía la auto planeación y posibilitaba a los constructores para que realizaran la obra directamente sin la necesidad de un arquitecto. Por otra parte, uno de sus proyectos móviles más notorios fue *Movable boxes*, el cual consistía en el diseño de una unidad básica con dos muros en los extremos y dos muros divisorios que se ajustaban para construir casas de dos pisos. Las unidades de cocina y sanitario se ajustaban en cajas ligeras y el ocupante podía definir su propia disposición dentro de la unidad sin ayuda de un arquitecto. Así, en sus proyectos incluyó la autoexpresión y la autosuficiencia del individuo. Además, con las estructuras de sus proyectos buscaba favorecer la libertad con elementos prefabricados que podían ser

combinados de varias formas, aunque implicara afectar al ocupante, urbanista, arquitecto o artista. Posteriormente, en el proyecto *Space Chains a polyhedron on stilts* se observa el concepto de libertad permitiendo la aleatoriedad o espontaneidad, aceptando la incapacidad de hacer predicciones (Van Vliissingen, s.f).

Estas ideas de Yona Friedman, prevalecieron y se expresaron por medio de la Arquitectura Conceptual, la cual había sido influenciada por la idea de diseñar la forma de los edificios antes que su propósito de Frank Lloyd. Así, en los años 60 el grupo Archigram de reino Unido, Superstudio en Italia y el movimiento Metabolista en Japón, crearían proyectos visionarios que en su mayoría no se construirían (Antić, 2012).

1.2 Una Arquitectura Activa

Las motivaciones del grupo Archigram a diferencia de las de Friedman, se basaban en el consumismo, imágenes de la cultura pop y el hardware espacial. Por lo que el grupo creó diseños que buscaban generar adaptabilidad del espacio enfocado en el usuario por medios flexibles. Por lo que proponían conceptos como *expansibilidad*, *kit de partes* e imágenes de artefactos producidos en masa, estructuras portables ligeras y estructuras móviles (Steiner, 2013). También, adoptaron el concepto de *indeterminación* de John Weeks que se refería a una arquitectura que facultara a la sociedad para jugar de manera activa y tuviera un rol participativo en su determinación, expresando el deseo de control de un cambio continuo. Un ejemplo de este aspecto de indeterminación, es el proyecto de *Plug-in City* (Figura 5) (Sadler, 2005). Otro proyecto que refleja esta característica es *Instant city* (Figura 6), considerado uno de los primeros conceptos de diseño de *Arquitectura Interactiva*, a pesar de que

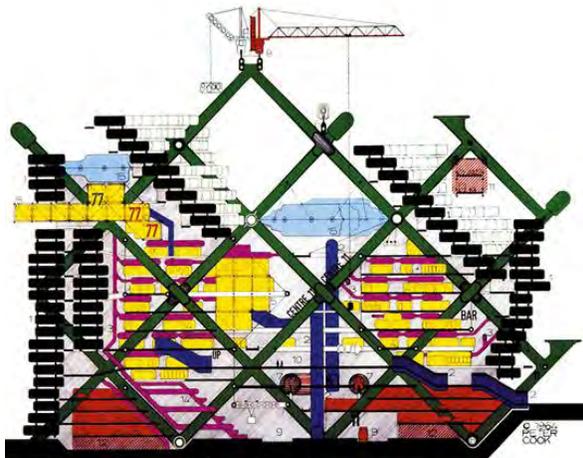


Figura 5. Plug in City. Movimiento de módulos de la ciudad por medio de una grúa Recuperado de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

nunca fue construido o tecnológicamente investigado, provee una visión del espacio arquitectónico como un evento por sí mismo, moviéndose dinámicamente a diferentes locaciones y cautivándose asimismo con nuevos participantes y contextos (Jaskiewicz, 2013).

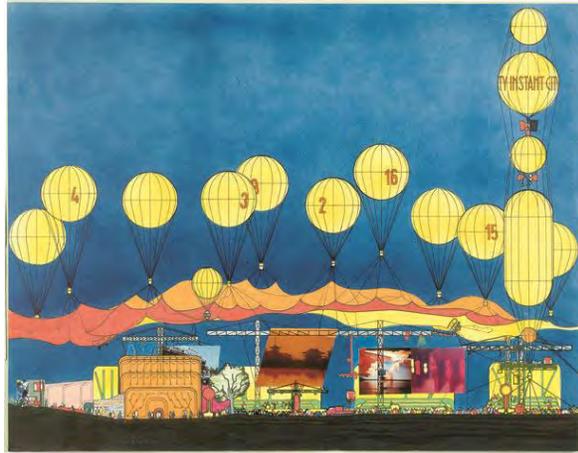


Figura 6. Instant City. Vista Frontal de la estructura itinerante. Recuperado de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Más adelante, *Archigram* fue influido por la cibernética de Norbert Wiener con el escrito *The human use of human beings* en 1957, en el que se describe la manera en que la retroalimentación de la información es determinante para las vanguardias y las máquinas ambientalmente responsivas (Hughes, Sadler, 2013). También, fueron influidos por la visión de la arquitectura como un medio orgánico, una extensión del cuerpo humano y regulador de la percepción ambiental de Marshall McLuhan (1964), lo que influyó en que concibieran la arquitectura como una interfaz cibernética entre el cuerpo humano y el ambiente, capaz de responder a los deseos personales por medio de retroalimentación de la información, cambiando el ambiente respectivamente (Cook, 1999). Con esta visión, realizaron proyectos a menor escala en los que buscaban una arquitectura personalizada y con materiales ligeros, como *Suitaloon* (Figura 7) que consistía en una unidad de vivienda personal, individual y portátil que se podía *vestir* para transportarse y desempacarse para después ocuparse y *Control and Choice*

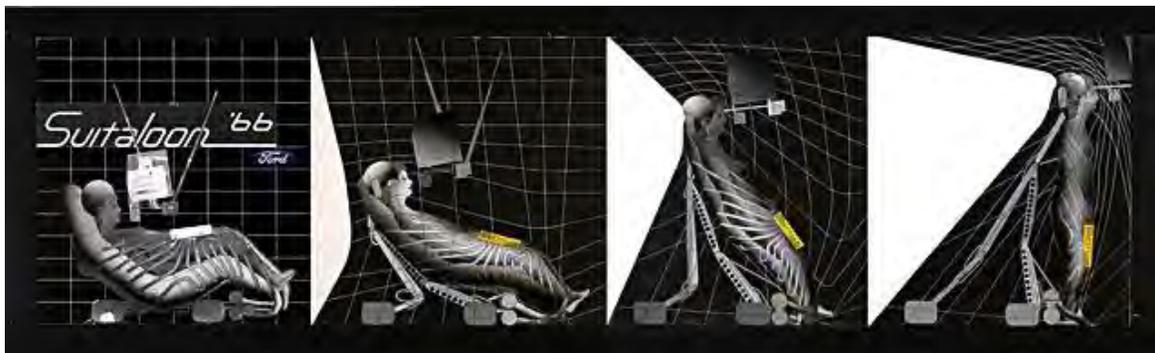


Figura 7. Suitaloon. Cuatro etapas del diseño especulativo para una unidad de vivienda portátil. Recuperado de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

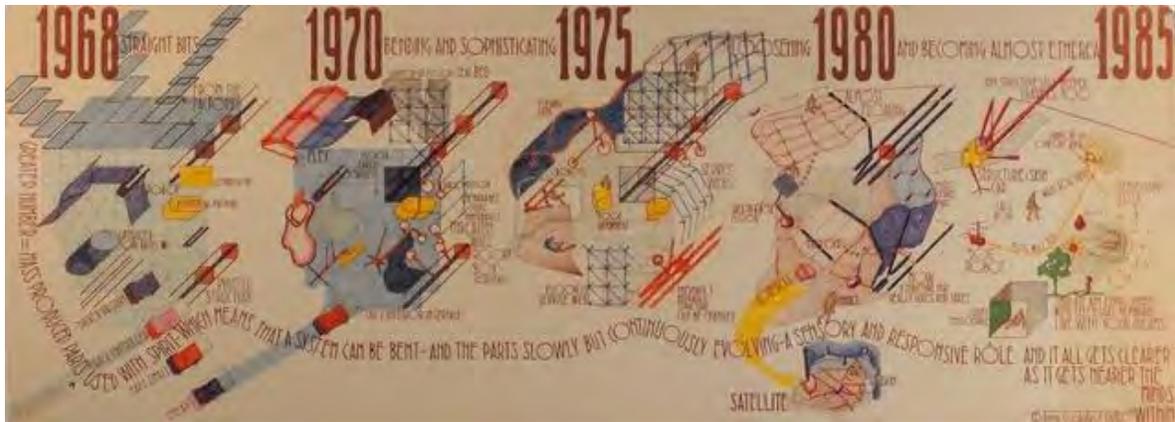


Figura 8. Control and Choice Dwelling. Desarrollado para la exhibición de la Bienal de París des Jeunesses proponiendo un sistema sintonizable que permitiera control individual de ambientes mecanizados. Recuperado de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Dwelling (Figura 8) que era una vivienda que se iba modificando de manera constante, con el paso de los años. En este proyecto, se observa una sala de estar que se disuelve gradualmente en un ambiente donde los muros se vuelven membranas televisivas y los deseos de los habitantes son detectados por células de sensores. La arquitectura no es considerada un hardware sino un software que permite diversas situaciones en un espacio (Steiner, 2013). De manera paralela y con algunas ideas similares a las de Archigram se desarrolló la *Arquitectura Metabolista* promoviendo una arquitectura flexible bajo una distinta concepción.

1.3 La Arquitectura Metabolista

El movimiento Metabolista en la arquitectura surge por influencia de las artes, las cuales establecieron su propia interpretación de conceptos básicos creando ligas a través de manifestaciones formales, constructos espaciales y expresiones en la forma en que eran usados los materiales para la construcción (Antić, 2012). La palabra metabolismo, hace referencia a una analogía con la arquitectura en términos biológicos, en la que son comparables las ciudades con el proceso energético de la vida, en donde hay ciclos de cambio constantes, regeneración y destrucción de lo vivo. Por lo que la tecnología, es una extensión de la propia humanidad para servir a las nuevas transformaciones y facilitar al ser



Figura 9. Torre Cápsula Nagakin. Cápsulas móviles. Recuperado de <http://www.mascontext.com/issues/4-living-winter-09/case-study-1-nakagin-capsule-tower/>

humano, el control de su propio hábitat al adaptarse a sus deseos o circunstancias específicas (Gutiérrez, 1990).

Los principales miembros del movimiento fueron los arquitectos Kiyonori Kikutake, Noriaki “Kisho” Kurokawa, Masato Otaka, Fumihiko Maki, el crítico Noboru Kawazoe, el diseñador industrial Kenji Ekuan y el diseñador gráfico Awazu Kiyoshi. Presentaron su manifiesto en 1960, con una visión peculiar de la ciudad del futuro. En este escrito, promocionaban una arquitectura flexible y ciudades dinámicas que podían desarrollarse y crecer eliminando las partes atenuadas, generando nuevos componentes según el ambiente socioeconómico. La

ciudad metabolista, se concibe como el cuerpo humano; cómo una estructura compuesta por células que nacen y mueren mientras el cuerpo continúa viviendo y desarrollándose (Pernice, 2004). Creían que la arquitectura no debía ser estática sino capaz de someterse a cambios metabólicos y en vez de pensar en formas y funciones fijas, desarrollaron estructuras y proyectos compuestos de elementos móviles y flexibles. Esperaban crear algo, que incluso en destrucción provocara una nueva creación subsecuente. Este “algo” debía ser encontrado en la forma de las ciudades en constante sometimiento al proceso del metabolismo (Pernice, 2004). Un ejemplo notable de la arquitectura metabolista fue la Torre Cápsula Nagakin (Figura 9), cuya idea era que las cápsulas fueran remplazadas periódicamente. Sin embargo, hasta el momento ninguna de las cápsulas ha sido cambiada.

1.4 Los Situacionistas

La búsqueda de una arquitectura y una ciudad flexible también se expresó por medio de la visión de La Internacional Situacionista. Esta era una organización internacional de

revolucionarios sociales, formado por artistas de vanguardia, intelectuales y teóricos políticos que tuvo presencia en Europa de 1957 a 1972 (Plant, 2002). El personaje más significativo en el contexto arquitectónico fue Constantine Nieuwenhuys(1959) con el ensayo *Another city another life*, en el exponía que el urbanismo estaba en crisis en un ambiente triste y estéril, provocada por la distribución de los vecindarios que crean conflicto con los patrones de comportamiento establecidos y con las nuevas formas de vida que estaban buscando. También, menciona que el juego se había perdido en los nuevos vecindarios, ya que su diseño estaba enfocado únicamente al confort de la vivienda y el tráfico, lo cual consideraba una expresión empobrecida de la alegría burguesa. Adicionalmente, Constant consideraba el ocio o el tiempo que no se usaba para laborar, como una oportunidad de diversificar el comportamiento por medio de la creación de grandes áreas de espacio social. Sin embargo, juzgó los edificios altos de las *ciudades jardín* como la reducción del espacio social al mínimo en los que la creatividad colectiva se apagaba (Knabb, 2006).

Para Gilles Ivain o Chtcheglov (1958), un cambio en el medio ambiente físico modificaría el comportamiento y estilo de vida de los habitantes de la ciudad. Para él, la arquitectura era el medio más simple para articular el tiempo con el espacio, modular la realidad y engendrar sueños. Quería evitar la arquitectura que conllevaba al aburrimiento. La nueva civilización que visualizaba Chtcheglov, adoptaba la arquitectura flexible, en la que su apariencia podía ser modificada parcial o completamente, basado en la motivación de sus habitantes. La arquitectura sería el medio para experimentar miles de formas de modificar la vida, en la que la actividad más importante sería la *derivé* (deriva), resultando en una total desorientación por medio de paisajes que cambiarían constantemente la ciudad que estaría creada a partir de distritos y sería dividida en barrios correspondiendo a el espectro de diversos sentimientos que uno encuentra por casualidad. Además, valoraba que mientras más se implementara el juego, abría un mayor efecto en el comportamiento de las personas (Wigley, 1998). Por otro lado, para Debord (2006) en *Report on the Construction of Situations* se refiere al concepto de situaciones construidas como un momento en la vida de manera concreta y deliberada por la organización colectiva de un ambiente unitario y un juego de eventos.

A partir de esta visión de la ciudad y la arquitectura, Constant diseñó el proyecto *New Babylon* (Figura 10) durante 20 años (1956-1974), en el que diseñó una red de estructuras interconectadas que cubrían la superficie de la tierra. Nueva Babilonia proporcionaba una forma de vida nómada, con habitantes en movimiento constante a través de laberintos, reorganizando el ambiente de acuerdo a sus deseos (Wigley, 1998). La vida lúdica de los habitantes de Nueva Babilonia presuponía transformaciones frecuentes en el interior de los sectores, por lo que era necesario que la estructura fuera lo más neutral posible (Nieuwenhuys, 1974). Usó las divisiones de Le Corbusier (vivir, trabajar, recreación y tráfico) para separar las actividades de la nueva ciudad, tomando en cuenta la automatización, facilidades de producción, permitiendo pocas tareas laboriosas y dejando a la población tiempo libre para jugar. El espacio a nivel de piso estaba destinado para los vehículos, permitiendo un flujo libre para acceder por medio del paisaje. También alzándose sobre el piso, había pilonos que sostenían los sectores y cubrían la tierra como una piel que multiplicaba espacios para recreación y vivienda. Además, los sectores estaban destinados a crear situaciones para derivas sin fin y para el desempeño creativo de cada día.



Figura 10. New Babylon. Combinación de sectores. Acuarela y lápiz sobre montaje. Recuperado de <http://www.archdaily.mx/mx/02-17540/constant-y-la-internacional-situacionista>

La distribución de estas construcciones, creaban mapas *psycogeográficos* con los sectores alzándose por varios lugares entre el paisaje. Constant consideraba que estos espacios eran como de desorientación, ya que permitían lo inesperado, sorpresas y descubrimiento de nuevas experiencias. Asimismo, pretendía modificar el comportamiento y estilo de vida de los habitantes rompiendo los hábitos que eran dictados en el horario diario de trabajo impuesto por la sociedad capitalista (Wigley, 1998).

1.5 La Arquitectura cibernética

El pensamiento arquitectónico en los años 60 se enfocó en problemas de flexibilidad, impermanencia, prefabricación, computadoras, robótica y un acercamiento global a los recursos energéticos y cultura. La arquitectura que contempló el usos de sistemas, adoptó a los cibernéticos y éstos a su vez adoptaron a Gordon Pask (Frazer, 1993). Las bases de la cibernética fueron propuestas por Rosenblueth, Wiener y Bigelow (1943), en el artículo *Behaviour, Purpose and Teleology* en donde se define el término de retroalimentación como las relaciones mutuas entre un objeto y su ambiente. También, se definen los conceptos de *comportamiento intencional y no intencional y predictivo y no predictivo*. Más tarde, Weiner presenta los conceptos de *complejidad y autoorganización de los sistemas* (Jaskiewicz, 2013).

Ante este contexto, los edificios cibernéticos se definieron como una estructura arquitectónica percibida como un sistema que podía interactuar con las condiciones de su ambiente, con distintas acciones realizadas por el edificio/sistema. Estas acciones, inducían a una modificación manifestada en el sistema como información que regresaba al sistema como retroalimentación. A su vez, esta retroalimentación provocaba una adaptación del sistema/edificio a las nuevas condiciones formadas. De tal manera que, el sistema cambiaba su comportamiento y su estado de información constantemente, creando bucles con retroalimentación continua y cambiante entre el sistema y el ambiente, resultando en

interacción. Las diferentes cualidades de la retroalimentación, influían a diferentes niveles de interacción (Antić, 2012).

Posteriormente, Warren Brodey propuso aplicar las tecnologías cibernéticas para lograr adaptación por medio de la arquitectura. Warren Brodey (1967) en el ensayo *Soft architecture- the design of intelligent environments*, plantea la idea de una arquitectura que se adapta por medio de coevolución con el comportamiento humano, con el hombre y su entorno circundante, siendo los dos objeto y ambiente el uno al otro (Heylighen, 2001). Al mismo tiempo, el movimiento Metabolista también influiría en la implementación de la cibernética en la arquitectura, reflejándose en la definición de arquitectura cibernética de Kurokawa (1969) como un organismo parcialmente automático, que en conjunto con el ser humano al que resguarda, genera una nueva forma de existencia en términos hombre-máquina-espacio, fundiéndose en un cuerpo orgánico que trasciende.

Por otro lado, Gordon Pask (1976) en su teoría de la conversación, mencionaba la creación de sistemas interactivos en los que describía como las interacciones llevan a la creación de conocimiento. Además, en su teoría de *interacción de actores* se enfocaba en una perspectiva más amplia, con una visión mundial en la que los procesos producen productos y todos los productos son producidos por procesos. Anteriormente, Gordon Pask y Robin McKinnon-Wood habían creado en 1953 el proyecto *Musicolour Machine*, para ayudar a la producción de diseños musicales emergentes como salida de la interacción entre una persona o compositor y un hardware computacional. Un acoplamiento estructural se formaba como resultado de una composición que tomaba una dirección que no se podía predecir por adelantado. Después de que cada uno supiera la salida de cada uno, el compositor era adaptativo a la máquina y viceversa (Pask, 1971). La influencia de la cibernética en la arquitectura se puede observar en el *Fun Palace* (Figura 11 y 12) diseñado por Cedric Price y Grodon Pask (consultor) para Joan Littlewood. En este proyecto, se formulaba un espacio indeterminado altamente flexible, capaz de responder a los usuarios permitiendo un gran rango de actividades. (Hamilton y Frazer, 2001). Cedric Price fue el primero en adoptar conceptos de los cibernéticos y usarlos para articular el concepto de

arquitectura anticipatoria manifestándose en el proyecto de *Fun Palace* y su proyecto *Generator* (Kolarevic. 2009). Estos proyectos, concibieron un ambiente espacial dinámico que combinaba la automatización y reconfigurabilidad para proveer construcciones arquitectónicas que fueran remodificados formalmente en formas impredecibles. (Jaskiewicz, 2013).

El *Fun Palace*, se puede describir como un proyecto inmenso, como una máquina interactiva socialmente, una arquitectura improvisacional, que cambiaba constantemente en un ciclo incesante de ensamblaje y desmantelamiento. La idea central del proyecto, era que los trabajadores del Este de Londres en sus días libres, fueran al sitio y por medio de grúas y módulos prefabricados ensamblaran aquello que pretendieran, para generar entornos de ocio. El proyecto estaba estructurado como un inmenso kit de partes con los que las personas podrían divertirse por varias horas a la semana y escapar de la rutina y monotonía de la existencia serial, para embarcarse en una jornada emocionante de creatividad, aprendizaje y desarrollo personal. Las personas podrían aprender un idioma, ver o hacer una película, explorar mundos virtuales, aprender a cocinar, enseñar a otras personas a cocinar, aprender a usar una computadora, ensayar en un coro, o mirar a lo que los demás



Figura 12. Fun Palace. Perspectiva para el sitio del río Lea. Recuperado de <http://www.cca.qc.ca>

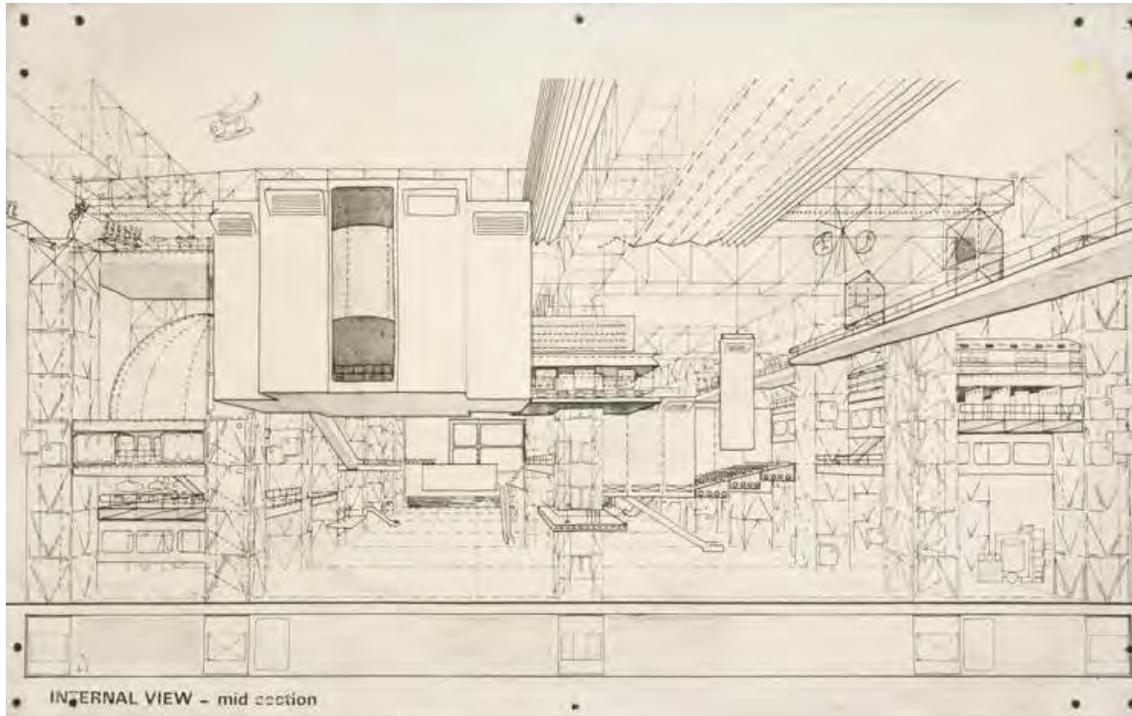


Figura 11. Fun Palace. Vista del interior. Sección del Edificio. Recuperado de <http://www.cca.qc.ca>

hacían. Los trabajadores cuyos trabajos se habían vuelto obsoletos, podían tomar clases, escuchar lecturas y aprender nuevas habilidades para poder trabajar. El *Fun Palace* no iba a tener un programa singular, pero se podría reprogramar y reconfigurar asimismo, para acomodar una variedad de funciones sin fin (Mathews, 2006). Es importante aclarar que Cedric Price no intentaba influir en las relaciones sociales. *El Fun Palace* es simplemente una entidad cuya esencia serían los eventos en un flujo continuo, que se adaptaban a sí mismos espacialmente para acomodar múltiples usos indeterminados. El *Fun Palace* funcionaba como un tubérculo, ya que los eventos en flujo continuo eran las conexiones que hay entre el espacio y las acciones de los usuarios, en el tiempo. Además de las propuestas de Cedric Price, hubo otras propuestas con influencia de la cibernética que también fueron notables, como el modelo de bucle centralizado con retroalimentación que propuso Yona Friedman, el sistema totalmente distribuido de Charles Eastman(1972) en *Adaptive conditional architecture* y Goldman (1979) consideró que los edificios podían ser clasificados como sistemas vivos debido a su comportamiento funcional como sistemas homeostáticos.

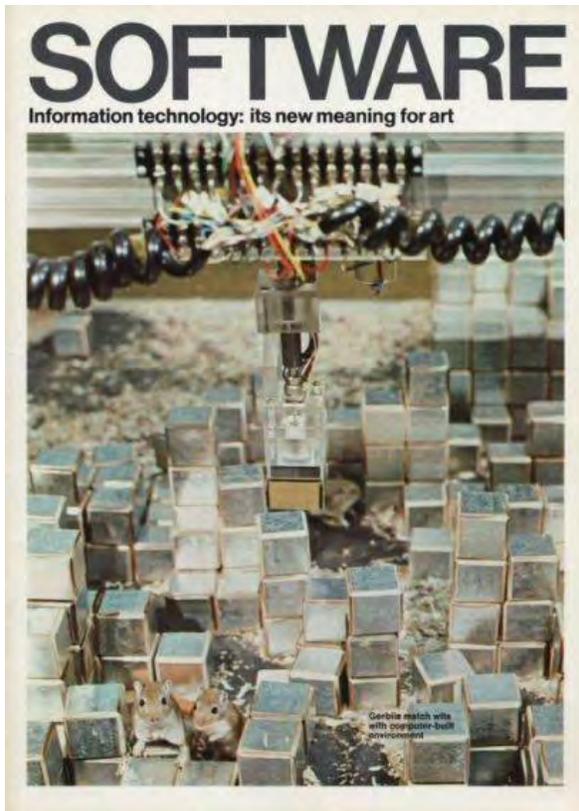


Figura 13. SEEK. Portada de Catálogo publicado para la exhibición Software en el museo Judío de Nueva York. Recuperado de <http://www.fondation-langlois.org/>

1.6 Arquitectura Responsiva

Actualmente se considera a la *Arquitectura Responsiva* dentro de la clase de edificaciones que demuestran una habilidad para alterar su forma para continuamente reaccionar ante las condiciones del entorno que lo rodea (Sterk, 2003). Este concepto, se desarrolló a partir de los años 70 por Negroponte (1970a) que consideraba que una *máquina arquitectónica* cambiaba el proceso de diseño arquitectónico, transformándolo en un diálogo que modificaba la dinámica tradicional humano-máquina de la arquitectura por medio de persuasión y compromiso mutuo. En esta relación

simbiótica, el diseñador no era el único que decidía. Posteriormente, influenciado por la exploración del diseño espacial a través de la cibernética y la arquitectura, Nicholas Negroponte (1970b) define el concepto de arquitectura responsiva a finales de los años 70 como el producto natural de la integración del poder computacional en espacios y estructuras arquitectónicas, provocando espacios con mejor desempeño. También, consideraba que era significativa la integración de la inteligencia artificial a los entornos arquitectónicos, para producir una arquitectura responsiva capaz de desempeñarse adecuadamente. Después, Negroponte (1975) en el libro *Soft Architecture Machines* consideraba al ambiente físico como un mecanismo que evoluciona y propuso que los edificios deberían ser asistidos, aumentados y eventualmente replicados por una computadora. Además, estimaba que las máquinas arquitectónicas se integraran a nuestras vidas más que ayudarnos a diseñar, haciendo referencia a la historia de ciencia ficción *Psychotropic houses en The thousand dreams of Stellavista*. de J.G. Ballard (Kolarevic, 2009). Estas ideas, se vieron reflejadas en la exhibición *SOFTWARE* en el museo Judío de

Nueva York en 1970, donde presentó el proyecto *SEEK* o *Blockworld* (Figura 13) que consistía en una exhibición de un grupo pequeño de jerbos del desierto de Mongolia colocados en un ambiente rodeado de bloques de *plexiglass* que se reacomodaban constantemente por medio de un brazo robótico. La idea era que el mecanismo pudiera observar la interacción de los jerbos y su hábitat, para aprender gradualmente de su comportamiento (Vardouli, 2011).

La influencia de la arquitectura cibernética y responsiva se continuó evidenciando en proyectos como el Instituto del Mundo Árabe en 1988 de Jean Nouvel, el cual responde en base a la iluminación de los espacios. Una de las fachadas del edificio está compuesta por diafragmas móviles parecidos a los de una cámara fotográfica, que se expanden y contraen en respuesta al tipo de iluminación requerida en el edificio. También, Ken Sakamura creó el Proyecto TRON en 1989, que incluía un sistema operativo en tiempo real para dispositivos embebidos llamado ITRON, Además, creó CTRON para el procesamiento de una red multitarea y BTRON un sistema operativo multitarea, multiusuario con una interfaz gráfica de usuario. Un año más tarde, se incluiría eTRON una arquitectura (Computacional) para la seguridad del lugar (Krikke, 2005). Luego, en 1991 Chuck Hoberman inventó el mecanismo de esfera expandible, de los cuales tomó algunos principios para aplicarlos en el proyecto *Expanding dome* que era un domo que se abría y se cerraba.

La arquitectura responsiva se siguió desarrollando en años posteriores, siendo uno ejemplo reciente y representativo el edificio MediaTIC (Figura 13) que se construyó en el año 2010. Cuenta con un revestimiento en las fachadas que tiene como función adaptar la orientación solar para obtener una máxima eficacia ambiental y ahorro energético. Además, contiene un espacio de 1,400 metros cuadrados con espacios modulables que pueden transformarse en una mayor o menor cantidad de aulas de acuerdo a las necesidades de capacitación. El edificio está estructurado en ocho plantas, las tres últimas están gestionadas por el CZFB (Consorti de la Zona Franca de Barcelona) y ofrecidas en alquiler a empresas e instituciones. Las cuatro plantas centrales albergan diferentes incubadoras de empresas, así como un espacio destinado a desarrollar el programa para proyectos e

iniciativas tecnológicas. La Casa de las TIC (Tecnologías de la Información), en la planta baja, está dedicada a la exhibición y al aprendizaje de las TIC para la ciudadanía. El edificio está situado en Barcelona y está concebido como punto de comunicación y encuentro de las empresas e instituciones del mundo de las tecnologías de la información y de la comunicación, así como del sector media o audiovisual. El edificio consta de una estructura metálica principal, formada por 4 pórticos rígidos arriostrados, separados entre sí 14 metros. El pórtico tipo, consiste en una jácena metálica tipo *fink*, formada por vigas metálicas de los forjados de la planta 7 y 8. Utiliza un sistema de pilares-tirante por el pórtico que conducen las cargas colgadas hacia los núcleos rígidos de soporte. En una de las fachadas, el edificio cuenta con un sistema de sensores

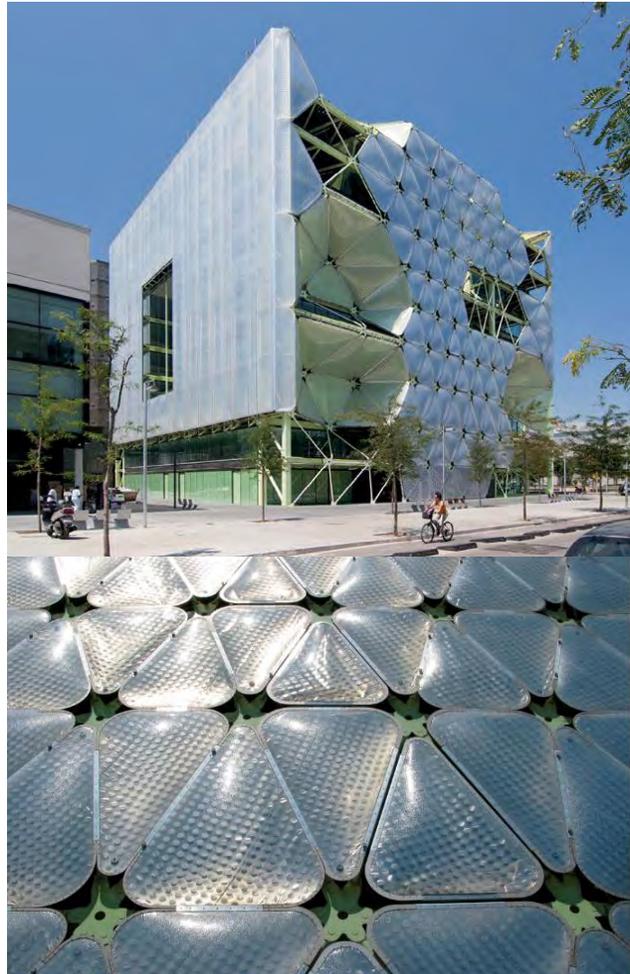


Figura 13. Media Tic. Y sus almohadillas de ETFE.
Recuperado de Fuente: <http://www.ruizgeli.com/projects/built/media-tic>

de temperatura que activa una nube vertical de partículas de nitrógeno y con el aire generado por el revestimiento de ETFE (Etileno Tetrafluor Etileno), protege el interior del edificio de la radiación solar y lo refresca. El Sistema de envoltente, consiste en un conjunto de cojines de ETFE, que contienen partículas de nitrógeno para aumentar la densidad del aire y el factor Solar del edificio de 0,35 a 0,19. El sistema se activa automáticamente con una red de sensores de temperatura. Parte del Envoltente está hecho una piel de ETFE de 2.500 m². La piel de ETFE está dispuesta como inflables que disponen de hasta tres cámaras de aire. Esto mejora el aislante térmico y permite la creación de sombra a través de un sistema neumático. La capa de en medio es la que consigue crear la sombra. La primera capa es transparente, la segunda (en medio) y la tercera, disponen de



Figura 14. Torres Albahar. Recuperado de <http://www.aedas.com/>

un patrón de diseño inverso que, al desinflarse y juntarse, hace sombra creando una sola capa opaca.

Otras edificaciones responsivas contemporáneas, son las Torres de Al Bahar (Figura 14) construidas en 2014 y diseñadas por Aedas en Abu Dhabi para oficinas. El objetivo en este proyecto fue crear un sistema de envolvente que se adaptara de manera dinámica a las condiciones climáticas y estándares de eficiencia. Los patrones geométricos que componen la fachada (Figura 15), incluyen más de 1,000 elementos móviles que se contraen y

se expanden durante el día dependiendo de la posición del sol. El sistema de sombreado se basa en las celosías árabes y en la noche se pliegan mejorando la visibilidad y a lo largo del día la fachada se mueve siguiendo el sol para lograr el radio óptimo de superficie entre las paredes y el suelo. La pantalla de sombreado disminuye la ganancia solar, tamiza la luz, reduce el deslumbramiento y contiene paneles solares para generar la energía renovable que



Figura 15. Torres Albahar. Recuperado <http://solucionista.es/al-bahar-towers-abu-dhabi/>

se usa en la fachada. Se encuentra controlada por computadora, funciona como muro cortina y está colocada a 2m de la fachada exterior de los edificios en un marco independiente. Cada triángulo está recubierto de fibra de vidrio micro perforada y programado para responder al movimiento solar disminuyendo la ganancia solar y el deslumbramiento. La fachada, reduce la necesidad del uso de aire acondicionado y disminuye

aproximadamente un 50% de la ganancia solar. Por otra parte, cada unidad de la serie de paneles de PTFE (politetrafluoroetileno), es accionado por un actuador lineal que se abrirá y cerrará progresivamente una vez por día, en respuesta a una secuencia pre-programada que se ha calculado para evitar la luz solar directa a partir del momento que golpea el Sistema de Envolvente. La instalación está protegida por gran cantidad de sensores que abrirán las unidades en caso de que las condiciones cambien, se nuble o se levanten vientos fuertes.

En síntesis, podemos decir que los movimientos dentro de la arquitectura flexible se suscitaron tanto a nivel urbano como local. Estos movimientos marcaron tendencias que siguen vigentes hoy en día y reflejan las motivaciones para generar una arquitectura flexible que cambie y se modifique formalmente según las necesidades de los habitantes. Entre estas necesidades se incluyeron la transitoriedad y movilidad de los habitantes, confort, para facilitar actividades determinadas, generar recreación y espacios sociales. También, para posibilitar que los habitantes se expresaran, personalizaran el espacio, realizaran elecciones propias a distintos niveles, influyeran en el entorno en que se encuentran y adquirieran autosuficiencia. Además, para que se lleven a cabo distintas situaciones en un mismo lugar o incluso sustituir un espacio por otro nuevo, actividades espontaneas, emergentes e indeterminadas. Por otro lado, la intención de que la arquitectura se transformara de manera continua es un aspecto que caracteriza a algunas de las propuestas y que se mantuvo con el surgimiento de los sistemas computacionales y los sistemas interactivos. Lo que influyó en que la concepción de que la arquitectura cambiara constantemente para evolucionar con los habitantes por medio de retroalimentación de la interacción con el ambiente. Asimismo, influyó en la idea de que reaccionara a las condiciones del entorno y que mantuviera un diálogo humano máquina. Otro rasgo considerable de la arquitectura flexible son los métodos de cambio planteados, ya que inicialmente las modificaciones se plantearon por medios manuales como el ensamblaje y desensamblaje por medio de movimientos corporales, posteriormente se incluyeron medios mecánicos como grúas o automóviles y posteriormente se implementó el uso de sistemas digitales incorporando la automatización. Estas motivaciones y características de la

arquitectura flexible, influyeron en generar cuestionamientos en torno a cuál es el papel del arquitecto y hasta qué medida es posible y prudente la participación e influencia del usuario. A pesar de todos estos cuestionamientos o motivaciones que surgieron con estas visiones, pocas ideas llegaron a materializarse, siendo la visión responsiva aquella que tiene mayores ejemplos creados.

2. Posturas contemporáneas de la Arquitectura centrada en el habitante

Es la forma arquitectónica que no es más estable, lista para aceptar el cambio. Su estado de temporalidad es determinada por las circunstancias del momento en las bases de un proceso activado y construido con inteligencia y potencial para el cambio. No una arquitectura producto, pero si un proceso basado en arquitectura cuya forma es definida por el comportamiento dinámico, las demandas cambiantes de sus usuarios y cambiando las condiciones externas e internas. Una arquitectura que por sí misma tiene las características de un sistema ecológico que emula la naturaleza en vez de protegerla y por lo tanto se acopla en fusión resistente de naturaleza y cultura (Kolarevic, 2009).

Existen posturas recientes que al igual que la arquitectura cibernética y la arquitectura responsiva continúan con el uso de sistemas computacionales, pero agregan nuevos aspectos que implican una relación más estrecha y directa con los habitantes. Una postura es la *Arquitectura Interactiva* que integra el concepto de interactividad y un subconjunto de términos que incluyen otros conceptos de arquitectura. Por otro lado, la postura de la *arquitectura adaptativa corporizada* que surge a partir de la visión de la cognición corporizada y señala la importancia de la interacción del cuerpo con el ambiente y los espacios arquitectónicos. Estas posturas han creado diversos proyectos que en su mayoría se encuentran a un nivel experimental. Adicionalmente, se describe las características las tipologías del cambio de forma tomando como apoyo las interfaces digitales que debido a que estas son mayormente experimentales aún no es clara su clasificación.

2.1 Arquitectura interactiva

Para comprender la arquitectura interactiva es esencial comprender que es la interactividad y bajo que contexto se vincula con la arquitectura. El concepto de interactividad, sugiere una cualidad activa que no es incorporada intencionalmente. Sin embargo, en términos de teoría de la información, la interacción se relaciona con los componentes del modelo de transmisión de la información: emisor, receptor, canal y mensaje. En él que la interactividad, es considerada una adecuación potencial que depende de los comunicadores para realizarlo. El concepto de interactividad es usado mayormente en las áreas de las ciencias de la computación, informática, diseño multimedia y diseño industrial. Dentro de estas disciplinas suele definirse como: expresión extensiva que en una serie de intercambios comunicacionales, el último mensaje se relaciona con mensajes anteriores y es relativo a otros previos. En otras palabras, la interactividad se logra a través de la última comunicación de la integración de un conjunto de mensajes, pudiendo expresar la relación o interrelación entre los mismos. Por otro lado, la interactividad reconoce tres niveles: no interactiva o comunicación bidireccional, reactiva o cuasi interactiva o comunicación completamente interactiva. La comunicación no interactiva, se refiere a cuando un mensaje en términos comunicativos no se relaciona con otro previo y la comunicación reactiva se refiere a cuando el mensaje se relaciona únicamente con el previo inmediato. En cambio la comunicación interactiva, señala como un mensaje se relaciona con varios elementos previos. Un ejemplo, es la comunicación entre personas y en este sentido los sistemas interactivos se pueden definir como aquellos sistemas que detectan y reaccionan a la conducta humana (Rafaeli, 1998). En este sentido, Haque(2006) estima que la interacción se refiere a las transacciones de información entre dos sistemas(entre dos personas, entre dos máquinas o entre una persona y una máquina) y considera que lo más importante es que estas transacciones sean de cierta manera circulares. De otra manera esto sería únicamente reacción. Cabe señalar, que hay conceptos similares al de interactividad como el de bidireccionalidad y transparencia que están comúnmente asociados y es necesario diferenciarlos. La bidireccionalidad, se refiere a una respuesta rápida en un corto periodo de tiempo y la transparencia, se refiere al grado en el que el usuario está consciente de una

entidad mediadora o a la cantidad de saliencia en el proceso de comunicación y ruido en el intercambio de comunicación (Rafaeli, 1998).

Haque(2006) plantea varios escenarios para explicar cómo es que se da la interacción. El primer escenario es una persona que retira personalmente dinero con un cajero en un banco. El segundo, es una persona que retira dinero de un cajero automático y el tercero una instalación de arte. La importancia de los dos primeros escenarios (del banco y del cajero) es que se ha recibido lo que se ha esperado, tanto por parte del cliente como del cajero. En los dos escenarios hay interacción, en el sentido de que existe transmisión de una instrucción a través de un límite que ha resultado en algo que es regresado a la persona. A pesar de que la persona en el escenario del cajero tuvo que distinguir entre diferentes opciones, las instrucciones de las opciones eran fijas y la persona obtuvo una suma de dinero esperada. Por otro lado, si tomamos en cuenta que en la instalación de arte se presenta un efecto visual particular basado en los movimientos de una persona en el espacio, aunque la persona al entrar al espacio no lo esperaba que sucediera o que fuera en respuesta a algunos de sus movimientos en el espacio, es muy probable que el diseñador del sistema haya determinado salidas particulares para entradas particulares, ya sea sabiéndolo al filtrar sólo la estética visual actual deseada, o sin saberlo, pero determinante por la compleja e inmutable estructura de un programa de computadora. A pesar de que para algunas personas estos escenarios serían considerados interacción, sería la menos interesante, ya que la persona opera entre un conjunto determinado de limitantes debido a que el criterio de entrada y salida son predeterminados por el diseñador del sistema. Por este aspecto, los escenarios son considerados como interacción de un solo bucle o *single-loop interaction*. Ahora bien, un ejemplo de cómo se da una interacción que entra realmente a una conversación es si el cajero del banco da algunas noticias sobre nuevos productos, algún problema financiero o una conversación acerca de cuestiones personales (que puede ocurrir después de varias visitas y conocer mejor al cajero) que requiera una mayor cantidad de interacciones. Lo significativo, es que el dominio de las interacciones de la persona es abierto y por medio de una conversación es capaz de mantener una relación que sea productiva y atractiva. Esto provocaría que se descubra nueva información inesperada de la que se puedan beneficiar o simplemente beneficiarse de los ciclos de interacción que

van a fomentar interacciones relacionadas en el futuro. Lo que lo vuelve constructivo es un bucle continuo y un aspecto inesperado. Así, la interacción con bucles múltiples o *multiple-loop interaction* depende en la apertura y continuación de los ciclos de respuesta, así como de la habilidad de cada sistema para tener acceso a modificar las metas de cada uno mientras interactúa. Para ejemplificar los bucles múltiples, si se toma el modelo del funcionamiento de un termostato y se le permite a la persona agregar entradas al sistema que regule la temperatura según sean sus deseos, como el consumo energético del mes pasado, la temperatura exterior del último año, según el color de la ropa que traigas puesta o a la quinta letra del segundo párrafo de la página frontal del periódico de hoy. En estos escenarios el sistema evolucionaría pesos por cada uno de los criterios de entrada para proveer una salida satisfactoria de acuerdo a un criterio determinado dinámicamente con la persona. Los criterios de salida podrían agregar aumentar el confort térmico, mantener los costos en gastos energéticos bajos, minimizar la cantidad de chocolate que se bebe, y maximizar el número de amigos que vienen a visita.

Después de comprender a que se refiere la interacción, es necesario señalar que Jaskiewicz (2013) estima que el concepto de *Arquitectura Interactiva* se origina de un grupo de términos que han tratado de clasificar las edificaciones o espacios que pueden modificarse para tener cierto tipo de relación con los habitantes (Figura 16). El vocablo *Arquitectura Automatizada*, explica las edificaciones que facilitan las acciones repetitivas de los usuarios, por ejemplo, el uso de elevadores, escaleras mecánicas y el uso de robots para las ocupaciones diarias. Otros conceptos como los de *Arquitectura Inteligente*, *Edificios Inteligentes* y *Viviendas Inteligentes* se consideran una extensión del pensamiento de la *Arquitectura Automatizada*, pero con la característica principal de ayudar a los habitantes con cierto tipo de inteligencia para comprender sus intenciones o sincronizar actividades en conflicto. Por otro lado, el concepto de *Arquitectura Reactiva* enfatiza la forma en que opera la acción de una edificación, ya sea como una reacción directa al usuario o al ambiente, siguiendo un patrón de comportamiento pre programado. Otro concepto mencionado anteriormente, es el de *Arquitectura Responsiva*, que enfatiza el uso de *bucles de retroalimentación* en los que una cadena acción-reacción no tiene fin semejándose a un diálogo. Además, el concepto de *Arquitectura Transactiva* subraya la

presencia de una transacción en el proceso de comunicación entre los usuarios y la arquitectura. Así como la transformación mutua provocada por la misma. Por otra parte, hay conceptos que implican que la arquitectura sea *activa*, refiriéndose a un funcionamiento como conductora o con el propósito de que la arquitectura dinámica sea un medio, sin referirse a un proceso de comunicación que permita lograrlo. Uno de estos conceptos es el de *Arquitectura Performativa* que originalmente hacía referencia las cualidades estructurales, pero ahora implica una arquitectura diseñada en base a un desempeño esperado. Como por ejemplo, el gasto energético o cualquier otro tipo de gasto medible al operar de las edificaciones. Otro concepto es el de *Arquitectura participativa*, que se enfoca en el rol de los usuarios a partir del proceso de diseño arquitectónico, así como rediseños y reconfiguraciones durante el funcionamiento del edificio. Asimismo, el concepto de *Arquitectura Inmediata*, se refiere a que la arquitectura que puede ser diseñada, reconstruida, modificada y usada al mismo tiempo. Estos

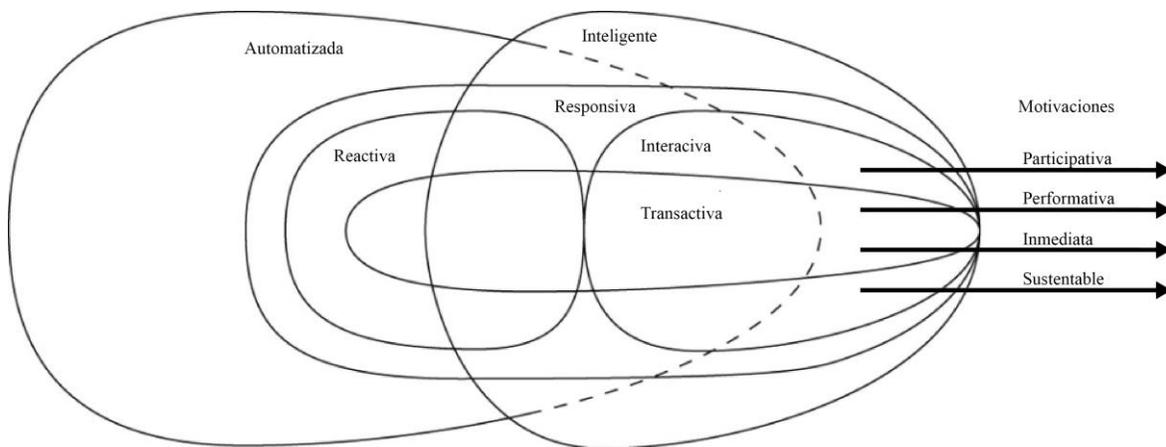


Figura 16. Sub dominios de la arquitectura activa/dinámica y sus Motivaciones comunes. Recuperado de Jaskiewicz, T. (2013). *Towards a methodology for complex adaptive interactive architecture*. TU Delft, Delft University of Technology.

conceptos, se enfocan en cualidades de la arquitectura más que en sus dominios de manera específica. Por otra parte, la *Arquitectura Sustentable*, se puede explicar cómo una cualidad de la arquitectura activa, enfatizando su capacidad para ser sostenible por sí misma. De manera similar, hay otros conceptos como la *Arquitectura Cinética*, que se refiere a las edificaciones capaces de moverse y transformarse físicamente. También, es importante mencionar el concepto de *Robotectura* que indica los espacios arquitectónicos que son previstos para abarcar la robótica. Estos dos últimos términos se refieren a la forma de

obtener ciertas cualidades o comportamientos, más que justificando el por qué o de qué manera.

Después de tomaren cuenta estas conexiones o cualidades que tiene la arquitectura interactiva con otros términos, existen distintas definiciones de arquitectura que se han planteado. Oosterhuis y Xia (2007) consideran que la arquitectura interactiva está basada en el concepto de *Hiper-Arquitectura*, por lo que al igual que el hipertexto (html), la Hiper-Arquitectura establece conexiones en tiempo real, mientras que el hipertexto conecta a usuarios en todo el mundo a través de internet. Además, establece conexiones entre el edificio y el usuario y responde a solicitudes específicas para reconfigurarse a asimismo en tiempo real. La interacción se puede llevar a cabo únicamente entre dos partes activas. En donde una parte activa es el usuario y la otra es el edificio. El edificio no es solo activo, sino también *proactivo*, anticipando desarrollos y actuando por adelantado. El edificio está conectado al mundo a través de internet y a los usuarios a través de la interfaz de usuario. La Hiper-Arquitectura continuamente procesa información, reconfigurándose asimismo en tiempo real. También, se ha definido como el potencial de los sistemas digitales para hacer decisiones acerca de nuestras condiciones de vida para influenciar el ambiente y el arte de construir relaciones entre los componentes construidos, entre la gente y los espacios construidos (Oosterhuis, Xia y Sam (2007). Otra visión de la arquitectura interactiva que se basa mayormente en sus cualidades físicas, computacionales y adaptables, es la de Fox y Kemp (2009) describen que el espacio interactivo es aquel que está construido sobre la convergencia de la computación embebida (inteligencia) y una contraparte física (cinética) que satisface la adaptación en el marco contextual de la interacción humana y ambiental. Por lo que el objetivo de estos sistemas, se encuentra en el deseo de crear espacios y objetos que puedan reunir las necesidades cambiantes de la evolución de las demandas individuales, sociales y ambientales. Otra interpretación de la arquitectura interactiva es la de Haque (2006), que se refiere a la interactividad en la arquitectura, en la que describe que ésta trata de diseñar herramientas que las personas por sí mismas usen para crear sus ambientes y por lo tanto crear su propio sentido de agencia y desarrollar maneras en que las personas por sí mismas se acoplen más a sí mismas y sean más responsables de los espacios

que ellos habitan. Considera que se trata de invertir en la producción de una arquitectura con las poéticas de sus habitantes.

Así, se puede decir que arquitectura interactiva es en esencia aquella que por medios digitales se reconfigura físicamente en tiempo real para adaptarse a las elecciones y a las necesidades cambiantes de los habitantes (individual y colectivos) y el ambiente, creando una vínculo entre el habitante y el espacio arquitectónico (ambiente y edificación). Cabe señalar que a diferencia de la arquitectura cibernética y responsiva que se enfocaban en la retroalimentación y la adaptación ambiental, esta incluye las elecciones y cualidades del usuario en distintos momentos. Además este término no distingue los distintos métodos o instrumentos digitales usados para generar la interacción.

Una perspectiva de los niveles de interacción del ser humano con la arquitectura, es por medio de las *interfaces* interactivas que se describen como aquellas que usan la transformación física o formal como entrada y salida. La forma puede ser usada físicamente por el usuario (entrada) y digitalmente por la interfaz (salida). De manera similar a los niveles mencionados por Rafaeli (1998) los tres niveles u orientaciones de las interfaces interactivas se clasifican en no interactiva, interacción indirecta o reactiva y la interacción directa o interactiva (Figura 17). La primera, se considera cuando la salida es una modificación formal, pero sin considerar al usuario como entrada, por lo que no existe la interacción. Algunas interfaces de este tipo, cambian de forma para mostrar la información digital en forma física, visual o háptica. La segunda, usa el cambio de forma como salida y una entrada implícita (cuando los usuarios no notan que sus acciones son notadas como

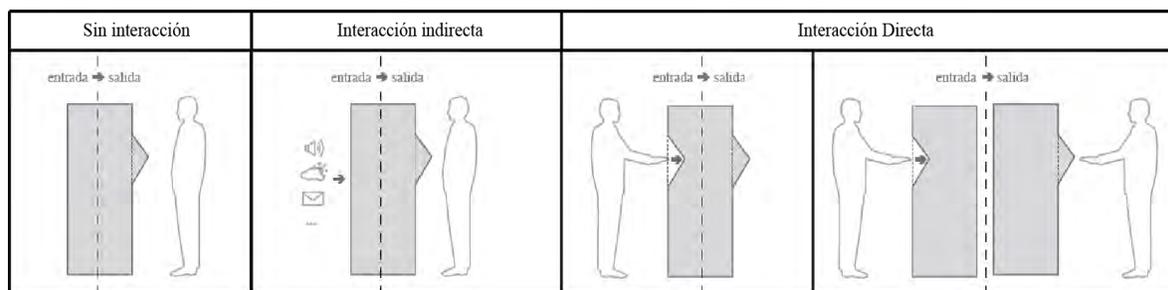


Figura 17. Tipos de interacción de las interfaces digitales. Recuperado de Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012, Mayo). Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 735-744). ACM.

entrada). La tercera en cambio, une la entrada con la salida y se refiere a cuando el usuario interactúa intencionalmente con el sistema a través de la deformación de la forma, mientras los cambios de forma son usados de manera simultánea como salida (Rasmussen, Pedersen, Petersen y Hornbaek, 2012).

Algunos ejemplos que han intentado acercarse a la arquitectura interactiva han sido desarrolladas por el equipo de investigación *Hyperbody* de la Facultad de Arquitectura en la Universidad de Delft, que investigan cómo el espacio físico y virtual facilitan la interacción humana e intentan responder cómo cambia el ambiente construido al incorporar robótica y sistemas en red, así como su influencia en la relevancia, significado y uso del espacio construido físicamente (Bier y Mostafavi, 2016). En 1998, Kas Oosterhuis integrante del equipo *Hyperbody* presentó su primera visión del proyecto *Space Station*, en el que las paredes de la estructura de la estación espacial se podían deformar dinámicamente en varias formas para proveer muebles que emergían de las paredes. Con esta idea, pretendía obtener posibilidades espaciales ilimitadas. Después, desarrolló el proyecto *Ground Zero* en el que generó una arquitectura abierta programable, con auto ejecución de estados emocionales y que fuera totalmente ajustable. El edificio reaccionaba a distintas circunstancias y procesaba activamente distintas configuraciones (Oosterhuis, 2003). Más adelante, tomó estas mismas ideas para el proyecto *Trans_ports* en el que generaba el cuerpo de un edificio que se transformaba con fluidez, con un interior dinámico y aumentado con pantallas para



Figura 18. NSA Muscle, Exhibición Centro Pompidou, Paris. Recuperado de <http://vaa.onl/>

multimedios interactivos. Originalmente, la idea era ubicar una red de estos edificios en los puertos. Estos tres proyectos, no se construyeron pero influyeron el proyecto *The Muscle NS A* exhibido en el 2003 en el *Centre Pompidou* de Paris (Figura 18).

The Muscle NSA, es un prototipo de un espacio pro-activo inflado con una superficie compuesta por una retícula de 72 músculos neumáticos que regulan individualmente la cantidad de presión de aire inducida entre ellos. El prototipo está programado para responder a los ocupantes, detectando, procesando y accionando mejoras. Los observadores se comunican por medio de sensores y actuadores con el prototipo. Los sensores conectan la estructura a los observadores y convierten su comportamiento en datos que actúan como parámetros de cambio en la forma física de la estructura activa y el paisaje sonoro del espacio. También, tiene 8 placas con tres sensores cada una: uno de movimiento para detectar la presencia de las personas hasta 6 metros, otro es de proximidad para detectar la distancia hasta a 2 metros y el tercero para detectar el tacto por medio de presión aplicada a la superficie. Además, el *Musculo NSA* está programado para comportarse con *anchos de banda* predefinidos de modos emocionales, incluyendo: brincar (emocionado), retraerse (asustado) y estremecerse (enfado) por medio de variaciones táctiles logradas por alteraciones volumétricas de la forma externa cambiando el largo de los músculos a tensión con la emisión de sonidos prediseñados de tonos variables. Una visualización de un modelo tridimensional del músculo es renderizado en la pantalla plana informando a las personas acerca de la naturaleza de su ser. Desde este modelo, el estado de cada músculo es determinado y la actividad del músculo es visualizada en tres colores en el modelo: rojo cuando se está inflando, azul cuando se está desinflando y gris en su estado pasivo. También hay ocho placas de sensores representadas en el modelo tridimensional, que combinan la escala y opacidad según la actividad del estado conductual del prototipo. Son visualizadas en el modelo como cambios graduales en el color de fondo. El modelo en

tiempo real es visto activamente desde muchas posiciones de la cámara para sentir los patrones de comportamiento trabajando. Visto en combinación con el modelo físico, la interfaz gráfica contribuye al entendimiento del público (Biloria, N. 2010). Otros proyectos importantes de *Hyperbody* son: *Muscle Reconfigured*, *Emotive interactive Wall* y *Pop up apartment* (Figura 19).

Otro proyecto con cualidades interactivas es el de *Hyposurface*, creado en el 2006 por C.W.Allen Group y Mark Gouthorpe (Figura 20). Consiste en una membrana interactiva táctil que cambia de forma, de movimientos y de iluminación, mediante interacción con las personas, con el objetivo de crear publicidad y *marketing*. La membrana está formada por una superficie horizontal que despliega medios gráficos como textos y logos. La superficie se adapta a patrones y a relieves de diferentes formas (ondas, gráficos, etc.). Genera movimiento, audio e iluminación para producir una experiencia en los usuarios cambiando el *estado de ánimo* de *Hyposurface*. Un ejemplo de cómo funciona, es el sonido de percusiones que cambian completamente el *sentimiento* de *HypoSurface*. Permite sobreponer videos en los patrones de movimiento. En términos generales, la idea es que la audiencia se de cuenta que influye de cierta manera en su movimiento, el sonido que generan y sus teléfonos móviles, están relacionados con el movimiento de la superficie (Decoi Architects, 2011). El sistema de control es ejecutado por un equipo de personas que dirige el movimiento, el sonido y la iluminación. El tipo de movimiento puede ser generado a través de la interfaz de usuario y se pueden añadir archivos de sonido que permiten al cliente generar un evento. El sistema muestra imágenes por una especie de pantalla o superficie continua de caucho metálico

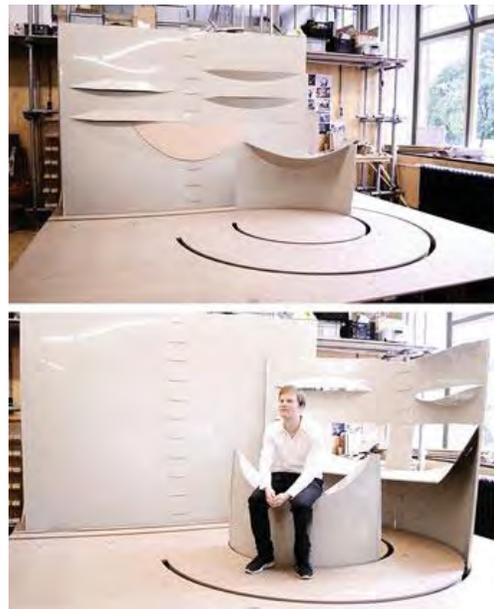


Figura 19. Pop up apartment, Instalación Reconfigurable apartment desarrollado por Hyperbody con 2 estudiantes de la industria partners en la Universidad Tecnológica de Delft en el 2013. Recuperado de Jäger, N., Schnädelbach, H., & Hale, J. (2016). Embodied Interactions with Adaptive Architecture. In *Architecture and Interaction* (pp. 183-202). Springer International Publishing.

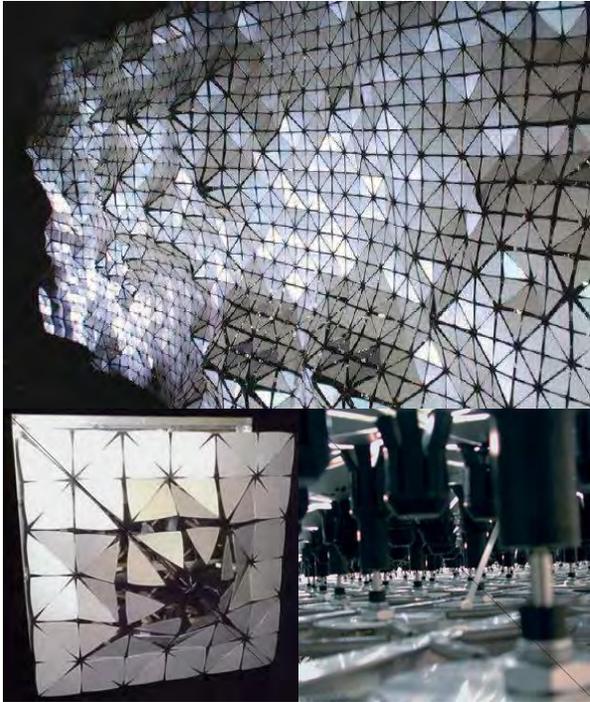


Figura 20. Hyposurface y sus actuadores.
Modificando su superficie por medio de interacción
con las personas. Recuperado de
<http://www.hyposurface.org/>

con un sistema neumático de actuadores, válvulas y silenciadores de escape de sonido montados en una estructura de 10 módulos de aluminio de 0.9 m x 3.35 m y soportes de acero soldados en forma de marcos de armadura para unirlos a los marcos neumáticos. Como apoyo para estabilizar el soporte, usan tanques de lastre fijados a los soportes de acero con arena y agua. Tiene un sistema de control centralizado compuesto para el control de la presión de las válvulas y cableado. También, contiene una compresora, un secador de aire de condensados y reservas de aire comprimido. Además, se compone de varios computadores que controlan la

interfaz de usuario con el programa central del sistema interactivo, conexión a ethernet, entrada de sensores, micrófonos, bocinas, sistema de detección de movimiento, cámaras y el sistema de iluminación. Todos los componentes de *Hyposurface* se transportan en 10 cajas (Decoi Architects, 2011).

2.2 Arquitectura adaptativa corporizada

Recientemente Jäger, Schnädelbach y Hale (2016) designaron el término *Embodied Adaptive Architecture* o *Arquitectura Adaptable Corporizada* al tipo de arquitectura adaptable que permite *interacciones corporales* de una manera directa y legible, que se adapta cinéticamente al comportamiento humano usando sensores, actuadores e infraestructura de cómputo. Estiman que este tipo de ambientes traducen los datos personales en movimiento de los componentes arquitectónicos, como muros de distintos tamaños *Hyposurface* o tan pequeños como cadenas montadas en el techo como el proyecto *Breathe*. Además, el concepto de *corporizado* considera al cuerpo como parte de la

cognición y lo sitúa firmemente en el mundo físico como se establece en *The extended mind* (Clark y Chalmers en 1998), *Phenomenology* (Gallagher, 2012) y *The primacy of perception and other essays on phenomenological psychology, the philosophy of art, history and politics* (Merleau-Ponty, 1964). También, la Arquitectura Adaptativa Corporizada toma en cuenta que la *cognición corporizada* en esencia rechaza la separación del cuerpo, la mente y sus interpretaciones como una máquina computacional (teoría computacional de la mente) como describen Calvo y Gomila (2008). También toma aspectos de la cognición corporizada de Di Paolo, Rohde y Jaegher(2010), Rowlands (2009), Gallagher y Bower(2014), que incluyen al cuerpo como una parte del sistema cognitivo en los que la cognición emerge de la corporización y al involucrar el cuerpo activo navegando, negociando e interactuando con el mundo incluyendo objetos físicos así como interacciones sociales. Según el *Acercamiento de las 4E* a la cognición corporizada, el cuerpo físico contribuye de manera significativa a los procesos cognitivos que entiende como ser corporizado, extendido, embebido y enactivo. La cognición embebida depende del cuerpo conocedor o cognitivo (encarnado). El cuerpo alcanza y llega al mundo (extendida), el cual lo pone en contexto en el mundo (embebida). Por lo que el cuerpo empieza a interactuar con el mundo (enactivo), el cual incluye a las personas y a los objetos. La enactiva forma el núcleo de las interacciones encarnadas con el comportamiento de la arquitectura adaptativa responsiva. Solo en conjunto estos conceptos de las 4 E's permiten verdaderamente interacción mutua entre el ambiente y los habitantes.

Las interacciones con la arquitectura adaptativa se pueden dividir en interacciones *análogas* o *digitales*, ya que cada una ofrece cualidades de experiencias distintas a los habitantes. Los ambientes análogos adaptativos siempre responden directamente a la entrada proveniente del habitante, como las casas de Steven Holl en Fukuoka que poseen elementos rotatorios en los muros que cambian la configuración espacial de un departamento manualmente, ya que la actividad del cuerpo al empujar un muro corresponde a cambios instantáneos en la composición del espacio físico. En contraste, los ambientes adaptativos responsivos impulsados por un comportamiento impulsado digitalmente pueden ofrecer una gran variedad de respuestas arquitectónicas, como retrasar la interacción, crear algo inusual o hacer un *mapeo* contra intuitivo a movimientos no usualmente encontrados

en ambientes análogos. Muchos ambientes responsivos con comportamientos experimentales responden a los usuarios a la distancia, lo cual se considera impulsado digitalmente. Otros ejemplos de lo impulsado digitalmente es el uso de datos poco frecuentes para sus respuestas, como datos psicológicos (ritmo cardíaco, respiración, conductancia de la piel, etc.). lo que permite nuevas formas de interacción corporal entre los habitantes y sus ambientes.

De igual manera, Jäger et al. (2016) señalan que existen varios proyectos experimentales de arquitectura adaptativa impulsada digitalmente, con ambientes que reaccionan a comportamientos externos fácilmente observables como la posición del cuerpo o más complejos como al comportamiento interno (procesos psicológicos). En el caso del comportamiento externo, se incluyen movimientos a gran escala de los habitantes como el movimiento de las extremidades, cambios de estado o postura o posición del cuerpo entero. En los dos casos, se utilizan estas dos cualidades habitantes con una respuesta cinética, auditiva o visual y tienen interacción continua con sus ocupantes (Tabla 1). Los ejemplos son: *Muscle Tower*, que consiste en una estructura que crea una simbiosis a través de la interacción con el pasante, envolviéndose virtualmente en la interacción. El proyecto *Dress Room*, que responde a la localización o posición del habitante por medio de sensores integrados al piso que miden la presión y activan el movimiento de muros de tela blancos. Según la posición del usuario, los muros se colapsan o se expanden. *Slowfurl* que reacciona a la presencia y posición de los habitantes, consiste en una piel de tela que responde a la constitución del muro a tiempos cambiantes con los rastros de la presencia de previos ocupantes del espacio. *Open columns* es un ambiente multiusuario que explora el uso de polielastómeros en la arquitectura. Las columnas montadas al techo responden a las variaciones de dióxido de carbono en los espacios interiores. Los niveles cambian según la cantidad de personas en el espacio y cuando se llega a cierto umbral, se despliegan unas columnas de malla para dispersar y reagrupar a las personas en otro lugar. Por otro lado, *Breathe* es una especie de ambiente como tienda que responde y graba la respiración del habitante actual y simultáneamente reproduce las respiraciones grabadas de los habitantes precedentes, tentando a los habitantes a que sincronicen su respiración con la de su predecesor en el espacio. *Sonic Cradle*, que también responde a la respiración de sus

habitantes con el objetivo de inducir la atención plena del usuario. Los patrones de respiración afectan un sonido adaptable ambiental que mezcla los sonidos según la frecuencia y amplitud de la respiración. *Lungs*, es una exhibición interactiva dispuesta en un cuarto oscuro alrededor de una alberca circular de pintura blanca en la que un video animaciones adaptativas son proyectadas. Ajustadas a sensores de respiración, cuatro personas se sientan en el piso en el borde de la alberca y de las proyecciones superficiales y respiran. Sus patrones de respiración afectan los videos de proyecciones adaptativas. Cabe señalar, que estos proyectos responden a sus habitantes en tiempo real o con algunos grados de retardo. Aquellos en tiempo real principalmente, establecen una relación corporizada entre ellos mismos y sus usuarios difuminando los límites entre el entorno físico y los habitantes.

Tabla 1.

Ambientes adaptativos impulsados digitalmente

	Comportamiento habitante	Ocupación	Método	Tiempo	Recíproco
<i>Muscle Tower</i>	Expresivo	Individual	Cinético	Tiempo real	-----
<i>Dress Room</i>	Expresivo	Individual	Cinético	Tiempo real/Retardo	-----
<i>Slow Furl</i>	Expresivo	Múltiple	Cinético	Retardo	-----
<i>Sonic Cradle</i>	Psicológico	Individual	Auditivo	Tiempo real	-----
<i>Open Columns</i>	Psicológico	Múltiple	Cinético	Retardo	-----
<i>Breathe</i>	Psicológico	Individual	Cinético	Compensación	-----
<i>Lungs(the breather)</i>	Psicológico	Múltiple	Visual	Tiempo real	-----
<i>ADA</i>	Expresivo	Múltiple	Auditivo/Visual	Tiempo real	○
<i>ExoBuilding</i>	Psicológico	Individual	Auditivo/Visual	Tiempo real	○

Nota. En la tabla se muestran distintos ambientes adaptativos digitales, diferenciando su comportamiento habitante, ocupación, método, tiempo y si existe interacción recíproca. Recuperado de Jäger, N., Schnädelbach, H., & Hale, J. (2016). Embodied Interactions with Adaptive Architecture. In Architecture and

Dicho lo anterior, también dentro del concepto de arquitectura adaptativa corporizada se consideran otro tipo de interacciones que se extienden más allá de un comportamiento responsivo e introducen un comportamiento ambiental *proactivo* que se denomina comportamiento *recíproco*. Lo cual se refiere a un comportamiento ambiental autónomo basado en respuestas al comportamiento del habitante. Un ejemplo es *Ada: Intelligent Space* que es una exhibición interactiva que acoge a muchas personas y consiste en un grupo de azulejos para piso que se prenden en distintos colores en respuesta a las personas que los pisan. También, tiene video pantallas y sistemas de sonido responsivos con la intención de hacer creer a las personas que interactúan con un organismo artificial. Contempla características que intentan sugerir cierta inteligencia de forma no cinética, incitando a las personas a que jueguen con el piso, dibujando contornos de lo que se perciba como grupos de personas y rastreando individualmente los pasos de los visitantes entre otras cosas. Otro ejemplo es *Exobuilding*, que es un techo montado tipo tienda con el objetivo de probar el concepto de mapeo de datos psicológicos en un espacio arquitectónico. Usa una tela de *jersey* que se estira por encima de un poste unido a dos servomotores independientes. Se proyecta una gráfica azul circular en el centro de la tela y bocinas grandes producen sonidos que causan que el suelo vibre. Después se miden los datos psicológicos del ocupante y se guían los movimientos en tiempo real. El proyecto introduce al ocupante en su propia estructura y comportamiento, usando acoplamiento psicológico directo por medio de *bio-detección*. Sin el cuerpo el ambiente no sería más que un artefacto estático, ya que el cuerpo del habitante es clave para crear arquitectura adaptativa corporizada. Debido a la interacción del cuerpo con el ambiente, la arquitectura adaptativa corporizada se vuelve un sistema interactivo en el cual el ocupante y el ambiente se vuelven interdependientes. Los participantes en *Exobuilding* describen la experiencia como habitando sus propios pulmones relegando su comportamiento al respirar. Lo que refleja extensión física ya que el habitante percibe su propio como más grande que su realidad. Como la corporización, el ambiente se extiende más de sus límites físicos en el cuerpo de su habitante. Este proyecto, ha ayudado a usuarios a respirar más lentamente y

regularmente porque los hizo darse cuenta de su propio comportamiento. Tanto las personas como el ambiente están embebidos en la interacción mientras ellos continuamente responden el uno al otro. Ellos enactúan su interacción por medio de su cuerpo, ya sea el humano o el cuerpo ambiental.

2.3 Tipología del cambio de forma

Debido a que dentro de la arquitectura flexible no hay una referencia a la tipología del cambio de forma de los distintos tipos de sistemas que se usan, se toma como base la clasificación que sugieren Rasmussen, Pedersen, Petersen y Hornbaek (2012) sobre las interfaces digitales. Cabe señalar, que el término *interfaz de usuario* o *interfaz humano-computadora* o *interfaz humano-máquina*, describe un medio por el cual las personas interactúan con un sistema a partir de una máquina, un dispositivo, un programa de computadora u otra herramienta compleja. También, la interfaz de usuario provee un medio de entrada para que los usuarios manipulen el sistema y una salida por la que el sistema indica los efectos de la manipulación del usuario (El-Bakry, Riad, Abu-Elsoud, Mohamed, Hassan, Kandel, y Mastorakis, 2010). Tomando esto en cuenta, Rasmussen et al. (2012) consideran que el cambio de forma se puede catalogar en dos tipos, el que tiene equivalencia topológica y el que no (Figura 21). Los primeros, se componen de formas que pueden pasar de una forma a otra a través de deformación continua, sin dividirse o articulando elementos, En cambio, en aquellos que las formas no tienen equivalencia topológica, son divididas, unidas o perforadas y son raramente usadas porque pocos materiales son capaces de producirlas. Los cambios que tienen equivalencia topológica se dividen en: *Orientación*, *forma-figura*, *volumen*, *textura*, *viscosidad* y *espacialidad*. El primer término, se refiere a los cambios que distorsionan la forma original a través de rotaciones o modificación de la dirección y mantienen el reconocimiento de la forma original. Como por ejemplo *Thrifty Faucet*, que comunica información del consumo de agua e higiene del usuario deformando su forma en varias posturas usando rotación y dirección. El segundo, está definido como las transformaciones que preservan el volumen aproximado de la forma mientras cambia su forma en general. Como por ejemplo la interfaz *Morphing Harddisk*, que cambia de forma succionando o inflando una figura en

forma de cubo para visualizar la información de la actividad del disco duro. El tercero, mantiene relativamente la forma y un ejemplo es el *Inflatable Mouse* que usa el cambio de volumen, inflándose o desinflándose, para tener el volumen de un mouse cómodo y ergonómico. El cuarto, describe pequeños cambios en la superficie de la forma, que agregan propiedades táctiles y visuales sin afectar la forma en su totalidad. Un ejemplo es *Relief*, que se compone de una superficie compuesta de una matriz de 120 pivotes motorizados, que permiten a los usuarios crear y experimentar modelos digitales como la geografía de un terreno. El quinto, expone los cambios de viscosidad que pueden resultar de forma física y crear una ilusión de cambio de forma. La viscosidad cambia mientras se mantiene la forma original, un ejemplo es *Mupad*, que es un reproductor que usa cambios en viscosidad como salida háptica para crear una superficie multicontacto. El cambio de viscosidad se usa con el botón de tocar. Cuando se presiona, se vuelve fluido y el dedo se hunde. Mientras suena la música, una representación táctil de la amplitud de la música se puede sentir. El cambio de viscosidad en la superficie, provoca la ilusión de que la interfaz cambia de forma, dureza, suavidad y vibración. El sexto, es el reposicionamiento en el espacio que da la ilusión del cambio de forma a través del reposicionamiento espacial y depende de los elementos individuales que se ven en un conjunto como parte de una estructura colectiva. Un ejemplo es la escultura de la marca BMW del museo de Múnich, que consiste en 714 esferas de metal que pueden ser reposicionadas verticalmente y dar la percepción de una forma compuesta.

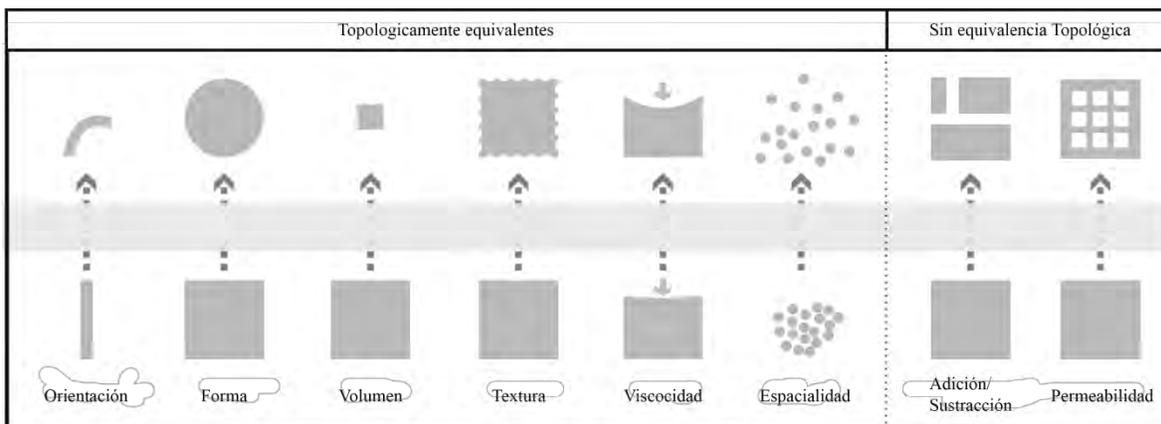


Figura 21. Tipos de interacción. Recuperado de Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012, Mayo). Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 735-744). ACM.

Por otro lado, los cambios sin equivalencia topológica se dividen en Adición y sustracción y Permeabilidad (experiencia de cambio de forma). El primero, se logra por medio de transformaciones que unen o dividen elementos mientras son capaces de regresar a la forma o formas originales. Un ejemplo de interfaz es *Blob Motility*, que explora las posibilidades de crear cambios de forma que rompen con el homeomorfismo por medio de fluidos magnéticos como una interfaz que se puede dividir, fusionar y moldear en formas orgánicas por medio de cambios en el campo magnético. El segundo, esta definidos por transformaciones en la que la forma es perforada, pero puede regresar a su forma original. Por ejemplo, el proyecto *Shutters*, imita una transformación permeable donde las partes de una superficie se pueden abrir y cerrar para regular el flujo de aire y la luz.

Otro aspecto a considerar en el cambio de forma, son los parámetros cinéticos que influyen en los tipos de transformación: La velocidad, la ruta, la dirección y el espacio. La velocidad, incluye aceleración, tiempo, vibración y frecuencia del movimiento del objeto. En cambio la ruta, que se refiere al patrón de movimiento de una transformación y si el movimiento es suave o entrecortado, linear o curvado, continuo o intermitente y patrón o aleatorio. Por otro lado está la dirección en la que se mueve el objeto y el uso del espacio, que se refiere a los cambios de escala y forma del cambio.

Algunas de las motivaciones para promover una arquitectura que cambia de forma también se puede observar en las interfaces digitales, las cuales se diseñan con cuatro propósitos principalmente: funcionales, hedónicos, explorativos o como kits de herramientas para el diseño de interfaces que cambian de forma. Dentro de los objetivos funcionales el principal propósito es comunicar o visualizar información, de manera expresiva y eficiente. A su vez, estos objetivos funcionales pueden ser por medio de *Affordances* dinámicos o comunicar posibilidades de acción, proveer retroalimentación háptica o tactilidad a las pantallas digitales, cómo solución práctica (modificar su tamaño y caber en distintos lugares o cambiar la permeabilidad para permitir mayor o menor paso de luz y ventilación) y con fines constructivos, en el que usuario ensambla una forma dinámica

y la manipula. Por otro lado, los objetivos hedónicos se refieren a un enfoque con metas no instrumentales, como estimulación, estética, generar emociones, estimulación y provocación, los objetivos explorativos se refieren a la creación de experimentos conceptuales con materiales que cambian de forma para aumentar el entendimiento de los materiales que conforman el objeto o prototipo que cambian de forma y como Kit de herramientas para programar el cambio de forma. Poco usado, un ejemplo es Bosu que hace posible experimentar iterativamente con el accionamiento de la forma usando soft materials o materiales con memoria de forma para grabar y reproducir el movimiento en el espacio 3D(Rasmussen, Pedersen, Petersen y Hornbæk).

En resumen, podemos decir que la arquitectura interactiva y la arquitectura adaptativa corporizada son las posturas que se encuentra más cercanas a permitir una influencia formal por parte de los habitantes. La primera propone reconfigurarse físicamente de manera continua para transformarse ante la interacción de los habitantes y el ambiente, así como los cambios constantes que presentan. Además, se considera que la arquitectura evoluciona por medio de las interacciones que se desarrollan a lo largo de la relación entre el objeto arquitectónico, los habitantes y el ambiente. En cambio la postura de la arquitectura corporizada, involucra la importancia del ser corporizado, extendido, embebido, enactivo y su integración al ambiente y a las edificaciones. Se centra en las interacciones corporales directas, continuas y en tiempo real para adaptarse al comportamiento humano. Esta visión, implementan medios digitales para ofrecer una variedad de respuestas y parte de la medición de datos personales de los habitantes tanto en su comportamiento interno como los datos psicológicos, hasta su comportamiento externo como la posición, localización del cuerpo y sus extremidades ante los cuales el objeto material responde por medios cinéticos, auditivos o visuales. Adicionalmente, hay proyectos que tienen un comportamiento proactivo más que responsivo, donde la arquitectura el ambiente y las personas interactúan de manera recíproca. Lo cual provoca que la arquitectura se vuelva un sistema interactivo en el que el ocupante y el ambiente se vuelven interdependientes y se generen micro ajustes que provoquen que no sea siempre la misma respuesta del sistema.

En cuanto a la tipología del cambio de forma en las interfaces digitales es un punto de partida para caracterizar el cambio. Estos cambios, pueden ser con equivalencia topológica, como la orientación, forma-figura, volumen, textura, viscosidad y espacialidad o sin equivalencia topológica como la adición, sustracción y permeabilidad. Cabe señalar, algunos de los propósitos para el cambio de forma son similares a las posturas arquitectónicas anteriormente señaladas, como los fines funcionales, hedónicos, como kit de herramientas, para comunicar o visualizar información, proveer retroalimentación háptica, generar recreativos, con fines hedónicos, estéticos, provocar emociones, modificar su tamaño. También hay otros objetivos que no se encuentran presentes en las posturas arquitectónicas como los fines explorativos y comunicar posibilidades de acción.

3. Arquitectura interactiva por medio de gestos

Los edificios con ambientes adaptativos muestran la posibilidad de interactuar en tiempo real con los habitantes en los cuales el edificio y el habitante contribuyen de manera equitativa. La conexión que tenemos con los edificios que habitamos, nunca ha sido más íntima y directa que ahora. La generación experimental de ambientes adaptativos se acerca a la visión de Ballard en *A Thousand Dreams of Stellavista* acerca de la conexión entre los habitantes y los edificios (Jäger, Schnädelbach y Hale, 2016).

Hasta el momento las distintas posturas de la arquitectura activa han intentado introducir por lo menos de manera teórica algunos aspectos para justificar la intención de que un espacio arquitectónico se adapte a sus habitantes por medio de reconfiguración espacial. Estos aspectos que influyen en el cambio de forma, son el comportamiento y transitoriedad de sus habitantes, sus necesidades biológicas, las condiciones ambientales, para generar confort, comunicar información, comunicar emociones, generar recreación, con fines estéticos y para ser capaz de transportarse de manera portátil. Otros aspectos importantes que se han tomado en cuenta es que este tipo de arquitectura debe tener distintas opciones de reconfiguración mediante un cambio continuo en línea que responda ante las necesidades de los usuarios. Sin embargo, es importante señalar que a pesar de que la elección en el cambio formal por parte de los habitantes se ha incorporado a niveles análogos o manuales en proyectos recientes similares a los propuestos en la Arquitectura Móvil o por los Situacionistas, por medios digitales aún no se incluye este que se pueda influir por medio de elecciones personales. La arquitectura cibernética que incluyó el uso de sistemas interactivos se aproximó más a esta idea con el proyecto de *Fun Palace* que cambiaba por medios mecánicos, pero la edificación nunca fue terminada. Más adelante, la arquitectura responsiva se enfocó en reconfigurarse ante las condiciones ambientales como el Media Tic o las Torres de Al Bahar sin integrar la elección directa de los ocupantes.

Más recientemente, la arquitectura interactiva se ha enfocado en la interacción que tienen los habitantes con las edificaciones y el ambiente a través de un diálogo continuo que evoluciona. Sin embargo, las propuestas relacionadas a esta visión, no contemplan que los habitantes tenga algún tipo de elección en el resultado formal, ya que a pesar de que el usuario influye en estos proyectos, por medio de su ubicación, localización, posición, sonidos, no es clara la cualidad de elección que tienen en el aspecto formal. Asimismo, el aspecto material de las propuestas no considera este aspecto, ya que están hechas para reconfigurarse únicamente con opciones preestablecidas que no se pueden ajustar o personalizar. Adicionalmente, a pesar de que en la arquitectura adaptativa corporizada se enfatiza la importancia del cuerpo usando datos externo e internos ninguno de estos datos contempla la capacidad de elección de los habitantes. Como resultado de la carencia de este aspecto, las posibilidades de acción o *affordances* que tienen los habitantes en los espacios arquitectónicos disminuyen y por ende se minimiza su capacidad adaptable. Cabe señalar, que este aspecto es incluido es incluido en los propósitos de las interfaces digitales, sin embargo no se ha experimentado con este aspecto en el campo de arquitectura.

Ante este panorama, se propone generar un medio digital que permita incluir la elección formal por parte de los habitantes dentro de la arquitectura activa por medio de un lenguaje corporal para que la elección sea más intuitiva y flexible. Por lo que se propone el uso del movimiento del cuerpo para personalizar el aspecto formal del espacio. Es importante señalar que no se pretende que los habitantes decidan sobre los especialistas, sino que este aspecto se integre para modificar las distintas configuraciones posibles de un tipo de arquitectura activa y que tenga la capacidad de regresar a las configuraciones originales de las cual se partió, así como de las configuraciones en las que se implementó la elección y de alguna manera quieren ser repetidas por los habitantes. Es importante mencionar que el aspecto materialidad debe estar diseñada para generar múltiples posibilidades o configuraciones como lo han hecho proyectos experimentales como *SEEK*, *Universal Constructor* y más recientemente *Hypercell* que permitirían mayor flexibilidad en las elecciones formales de los habitantes por medio de espacialidad . De ahí que sea necesaria una arquitectura activa que incluya en el cambio las cualidades y necesidades únicas de cada usuario y que posibilite la selección de las cualidades físicas de un espacio según sus

gustos para aumentar las posibilidades de acción en el espacio. Estas cualidades, se pueden lograr por medio de interacción corporal para modelar de alguna manera los componentes arquitectónicos. Se considera que al permitir que los habitantes puedan participar en la elección formal por medio de un lenguaje corporal, este medio facultará a los habitantes para personalizar el lugar que habitan y esto generará que los habitantes se conozcan más a sí mismos por medio de la experimentación del espacio y se logre una arquitectura adaptable.

Tomando en cuenta que el objetivo de la propuesta es aumentar la capacidad adaptable de la arquitectura activa, generando más opciones de configuración espacial a partir de la elección para ampliar las posibilidades de acción sobre la arquitectura activa, es necesario esclarecer a que es y cuáles son los requisitos para obtener adaptabilidad y como es que esta mejora al incluir un medio de elección interactivo por medio del movimiento del cuerpo de los habitantes. Además, se describen cuáles son los medios digitales que se proponen para producir la interacción corporal.

3.1 Adaptabilidad

La arquitectura adaptativa existe desde hace mucho tiempo, ha sido parte de los estilos de vida nómadas que requerían estructuras móviles y ligeras antes que la humanidad desarrollada técnicas de agricultura que les permitiera quedarse en un mismo sitio. El aumento de riqueza junto con el aumento de disponibilidad de recursos hizo menos importante que la arquitectura cumpliera múltiples funciones como materiales para edificaciones y en algunos lugares el espacio parecía ilimitado. La arquitectura adaptativa se refiere a los ambientes que han sido específicamente diseñados para adaptarse a condiciones cambiantes (Schnädelbach, 2010).

La adaptabilidad se ha definido como la capacidad de comportarse en formas máximamente consonantes con el logro de finalidades o metas. El comportamiento adaptable por lo tanto se vuelve sinónimo de comportamiento apropiado o grados en que un

acto en particular facilita o va en contra del logro de un fin determinado. El comportamiento que es consonante con una finalidad frecuentemente es incompatible con otra simultáneamente existente en objetivos (Harvey, 1966). Además, la adaptación implica dos tipos de correspondencia: Una entre los requerimientos del organismo y los recursos del ambiente, y otra entre los requerimientos de un ambiente y los recursos de sus habitantes. Los dos, organismo y ambiente están presumiblemente sujetos a algún grado de modificación a través de la acción del otro. La adaptación implica un marco particular de referencia que concierne a la persona y a su ambiente. Un determinado comportamiento puede ser juzgado como adaptativo en referencia a un ambiente y no respecto a otro. La adaptación inmediata puede impedir la adaptación a una situación que es encontrada subsecuentemente (Scott, 1966). Así, la adaptabilidad se puede definir como las cualidades que tiene un sistema de aprender y modificar un proceso, un estado o una peculiaridad de acuerdo a los cambios que sufre el entorno bajo determinado contexto. La adaptabilidad se logra a través de un mecanismo que permita responder a las circunstancias, ya sean internas o externas en determinado tiempo. De esta forma, la adaptabilidad requiere de interactividad y viceversa.

Por otro lado, los sistemas adaptables son sistemas que pueden alterar aspectos de su estructura, funcionalidad o interfaz para acomodar las distintas necesidades de los individuos o grupos de usuarios y las necesidades de cambio que necesitan los usuarios a través del tiempo (Benyon y Murray, 1993). Este cambio de sus características, se debe generar automáticamente de acuerdo a las necesidades del usuario (Oppermann, 1994). Así, un sistema que se adapta al usuario es un sistema interactivo que se adapta al comportamiento de cada usuario de manera individual en base a inferencias no triviales de información acerca de algún usuario (Jameson, 2001) entre las que se puede incluir la capacidad de elección que implementa los conocimientos de los habitantes sobre sí mismos.

La capacidad de elección, aumenta la flexibilidad y por ende la adaptación. Bolbroe(2016) ejemplifica la flexibilidad equiparando la acción de habitar con el relato sobre ecología saludable de Baetson acerca de la civilización humana, en el cual describe

en términos de flexibilidad cómo un funambulista camina sobre la cuerda en el que por medio de la libertad de movimiento (ej. brazos) puede mantener el equilibrio. Sobre este relato, Bolbroe considera que el funambulista puede habitar hipotéticamente la cuerda sólo si éste considera más cualidades que la pura materialidad y forma del cable. La acción de caminar por la cuerda requiere flexibilidad para dar cabida a la inestabilidad, así como el habitar la arquitectura requiere flexibilidad para dar lugar a la inestabilidad. Además, cómo la acción de habitar tiene un significado, se vuelve la nueva estabilidad que potencialmente permite la libertad de cambiar. Así, toma menor peso el objeto arquitectónico como por (ej. comedor) y mayor peso la acción de comer, que se puede llevar en una gran variedad de escenarios y por lo tanto requiere muchos diferentes comedores. Por ejemplo el funambulista puede caminar en el cable de muchas formas mientras sea capaz de responder a las condiciones cambiantes que lo rodean. Hay un requerimiento de inestabilidad para encontrar estabilidad. Si imaginamos que el cable de acero fuera adaptativo, le podríamos asignar nuevas propiedades. Podría responder a la velocidad del viento y cambiar la tensión sobre la marcha. Aun así el funambulista se beneficiaría poco si no se toma en cuenta la forma particular en que mueve su cuerpo para estar balanceado. Dado que la meta no es la materialidad y la forma del cable por sí mismos sino la acción de caminar en el cable, por lo que el cable necesitaría registrar, recordar y aprender un contexto extensivo en intercambio directo con la interacción del funambulista con el cable y el ambiente. Esto conlleva a considerar que la capacidad de elección genera mayores libertades formales por lo que es indispensable para crear un equilibrio en la arquitectura activa en conjunto con los otros aspectos anteriormente mencionados para lograr capacidades adaptativas. Más que tomar en cuenta la materialidad de la arquitectura activa o el aspecto formal, es necesario estimar las acciones cambiantes de los habitantes que generan inestabilidad esto permite que se logren respuestas flexibles o más escenarios posibles. Además, las acciones de los habitantes y sus particularidades o cualidades únicas, son necesarias que se tomen en cuenta para generar una verdadera arquitectura activa adaptable.

3.2 Elección de los habitantes

En cuanto a los niveles de elección de la arquitectura activa, es necesario señalar que Bier y Ku (2013) consideran que las interacciones humanas y no humanas pueden darse a un nivel virtual o físico implicando que la reconfiguración de espacios para adaptarse a las necesidades del usuario se deben implementar y definir de manera preliminar por expertos como arquitectos, ingenieros, etc. dentro del marco del diseño paramétrico para que los usuarios elijan soluciones predefinidas de un conjunto de soluciones posibles. Así, la amplitud de elecciones se mantiene dentro del campo de soluciones válidas. Tomando en cuenta estas cualidades de elección. Bier y Mostafavi (2016) señalan que en los edificios y ambientes robóticos los usuarios no puedan generar arbitrariamente (cualquier tipo) soluciones, sino más bien contribuir y seleccionar de un grupo de posibles soluciones. Consideran que las limitantes paramétricas para las posibles soluciones están definidas de acuerdo a lo funcional, formal, material, estructural, ambiental (pertenecientes a las ciencias de la arquitectura, ingeniería y ciencias de la construcción), excluyendo la posibilidad de generar (científicamente) soluciones inválidas. Como por ejemplo el dimensionamiento espacial que podría ser numericamente restringido en relación al mínimo o máximo de la ocupación y uso de los requerimientos; las posibilidades de acceso podrían ser definidas en relación a la ruta más corta, las variaciones de temperatura interior podrían ser restringidas a un rango de opciones recomendadas, etc. Esto implica que el agenciamiento humano sea condicionado a operar exclusivamente en interacción con el agenciamiento humano y por ende, éste procesalmente facilite la toma de decisiones humanas, compensando que las decisiones humanas deberían ser limitadas o excesivas. Por ejemplo, mismos sistemas de agentes (virtuales y físicos) o similares, producen múltiples (y hasta sin fin) variaciones de configuraciones arquitectónicas bajo condiciones similares debido a las propiedades emergentes del sistema. Mientras en el diseño espacial y las formaciones programáticas emergen de interacciones contextuales basadas en datos (ambientales, programáticos, etc.), la arquitectura robótica emplea interacción en tiempo real en el accionamiento de las corporizaciones arquitectónicas, que se vuelven dinámicas, actuando y reaccionando en respuesta ambiental y las necesidades específicas de los usuarios.

A diferencia de estas opiniones, considero que establecer un conjunto de configuraciones formales fijas a la arquitectura activa bajo parámetros de especialistas, no es suficiente para lograr una arquitectura que se adapte a las necesidades cambiantes y particulares de los usuarios, ya que es necesario permitir la capacidad de elección de los usuarios. Además, considero que no existen las posibilidades de cualquier tipo, ya que siempre el diseño presenta limitantes y rangos de actuación o movilidad posible que son determinadas por el diseñador.

Por otro lado, Bolbroe (2016) considera que se puede crear un tipo de arquitectura enmarcada por un interés en cómo los humanos y el ambiente interactúan y cambian las propiedades de los espacios habitables. Como Zuk y Clarke, que proponen una arquitectura que se comporte como fondo, que ya no se presente como la pieza central, pero en cambio apoye las actividades cambiantes, preferencias y experiencias humanas. Desde esta perspectiva, hay que considerar que existen capacidades dinámicas externas a la arquitectura. Si percibimos mayormente la arquitectura en términos de su expresión material y por lo tanto tratamos de modelarla por medio de la anticipación de lo que encajará en el futuro, no estaríamos considerando que todas las edificaciones son predicciones y que todas las predicciones están mal (Brand, 1977). De cualquier manera el hecho de que sea difícil o incluso imposible predecir, no significa que nos tenga que importar menos lo impredecible o lo incierto. Esto nos dice, que las respuestas de la arquitectura activa siempre deben de ser diferentes, y que no pueden estar determinadas por un diseño o un programa arquitectónico fijo, ya que las situaciones que se van a dar en cualquier lugar van a ser diferentes.

En lo que respecta a esta cualidad, el Dr. Ray introdujo el concepto de inteligencia habitante, asumiendo que cuando los habitantes entienden las opciones de control del edificio son capaces de hacer elecciones apropiadas (Velikov y Thün, 2013).

3.3 *Affordances*

Concebir la arquitectura para situaciones determinadas, es limitar sus relaciones contextuales. Una arquitectura que permite el cambio, debe romper las situaciones determinadas, influyendo en sus relaciones contextuales. En otras palabras, mediante una arquitectura modificable, estas relaciones se reducen, se rompen o se intensifican de diferentes formas. Esto, considera la multiplicidad de peculiaridades de los habitantes ante un determinado contexto, de tal manera que las acciones que se pueden llevar a cabo se multiplican en esas interacciones. Mediante el cambio, se pretende generar sensaciones, funciones, sucesos o diversas intenciones que influyan en la desterritorialización, ya sea como línea de articulación o segmentaridad de las posibilidades en un espacio. Asimismo, a través de elementos dinámicos que proporcionan un cambio de forma se puede multiplicar las posibilidades de acción en el espacio y metamorfosear las configuraciones espaciales y generar un cambio en la relación entre el espacio y los usuarios. Adicionalmente, si el usuario obtiene un medio para decidir que partes del ambiente en el que se encuentra puede modificar, este se convertiría en un espacio con más posibilidades y por consiguiente más habitable. Por lo que es necesario que los sistemas que provocan un cambio de forma en la arquitectura, sean controlados también por el usuario a diferencia de generar únicamente un ambiente responsivo automatizado. Un ambiente que permita al usuario definir las opciones concede una mayor cantidad de *affordances*. Los *affordances* en el ser humano son representaciones internas codificadas de manera cuidadosa y simple de configuraciones complejas de objetos externos. Las codificaciones, capturan la significancia funcional de los objetos (Vera, A. H. and Simon, H. A, 1993). Lo cual quiere decir, que las representaciones y funciones que tienen los objetos son diferentes para cada individuo, ya que cada quien codifica o da un significado diferente a las cosas. Este aspecto también se puede entender como señala Bergson (1900), los objetos que rodean mi cuerpo reflejan su acción posible sobre ellos o en el caso del espacio arquitectónico, que hay un indicio inherente de acción en sus imágenes, un momento del encuentro activo, o una promesa de función y propósito (Pallasmaa, 2006). Tomando esto en cuenta, para que un espacio arquitectónico se adapte formalmente debe permitir que el usuario lo modifique según las posibilidades que cada quien le encuentre y multiplicar sus posibilidades. Además, es

encasario tomar en cuenta que los seres humanos no son seres estacionarios, recibidores de información pasiva, sino que más bien están en constante movimiento y que es fundamental su habilidad de movimiento para entender los *affordances* de un lugar (Stoffregen, T. A., & Mantel, 2015).

Los *affordances* que tiene un espacio arquitectónico, son las opciones o posibilidades que le encuentran las personas a un espacio para llevar a cabo determinadas actividades o situaciones. Los *affordances* de un espacio están inmersos en relaciones de posibles acciones que se pueden sustituir, aumentar o disminuir. De manera similar, los *affordances* también determinan el nivel o la cualidad de la participación del usuario en alguna situación. Los *affordances* de un lugar están estrechamente ligados al diseño y a las características que tiene un lugar además de la geometría del lugar. Entonces, la arquitectura verdaderamente adaptable se puede concebir como un tubérculo que aglutina posibilidades, que serán percibidas en relación a los deseos, necesidades y objetivos de los usuarios en un momento dado.

Tomando en cuenta lo anterior, si tratamos de imaginar cuál sería el método necesario para que el usuario tomara distintas elecciones formales de la manera más intuitiva o cómo el usuario seleccionaría el diseño de la respuesta formal, quién generaría el cambio en caso de que hubiera más de un sólo usuario, como sería el material para lograr un cambio formal con estos fines, cómo se garantizaría plenamente la seguridad de los usuarios entre otras cosas. Una forma en que el aspecto formal podría cada vez que el usuario lo requiriera por medio del movimiento del cuerpo, de tal manera que según fuera el movimiento del usuario, la edificación cambiara a cierta configuración impulsada por el usuario y así cada usuario pudiera generar distintas configuraciones no pre establecidas. Para que un usuario pudiera lograr esto, primero tendría que seleccionar algún tipo de configuración formal y seleccionar algún movimiento corporal que accionaría un determinado cambio de forma generando así una especie de lenguaje. De tal manera que, si el usuario deseara producir distintas configuraciones, se tendría que generar distintos gestos que tendrían que almacenarse para que después el usuario pueda ejecutar los movimientos seleccionados

según el cambio que deseara. Esto permitiría hacer modificaciones intuitivas sin embargo sería necesario considerar que es necesario modificar el espacio a distancia, ya que así no se tendría que hacer contacto directo con los elementos de las edificaciones lo cual haría mucho más difícil la modificación formal.

3.4 Un lenguaje corporal para una arquitectura cambiante

Haque (2006) considera que para generar sensación de agenciamiento y contribución a la organización del edificio, lo más estimulante y la situación más productiva sería un sistema en el cual las personas construyeran sus espacios por medio de conversaciones con el ambiente, donde las historias de las interacciones construyen nuevas posibilidades para compartir metas y compartir resultados. En dichos sistemas arquitectónicos, los habitantes por si mismos serían capaces de determinar su propio criterio de eficiencia

Estas conversaciones, se pueden lograr por medio del cuerpo de los habitantes. Sin embargo, para que un espacio cambiante aumente los *affordances* por medio de los movimientos del cuerpo es necesario entender la relación del cuerpo humano con la arquitectura y así proponer un intermediario para que el ambiente se configure por medio de las elecciones de los ocupantes.

El ser humano conoce a través de los sentidos, en donde el cuerpo por medio del movimiento va sintiendo y dimensionando el espacio al caminar. Por medio del cuerpo y la visión, el las personas se proyectan en el espacio para sentir su tamaño. El peso del cuerpo es una referencia al tocar cualquier objeto, como el de la puerta de un lugar. Nos sentimos a nosotros mismos en la ciudad y la experimentamos como una experiencia encarnada. La ciudad y el cuerpo se complementan y se definen el uno al otro. Habitamos en la ciudad y la ciudad habita en nosotros. El ojo colabora con el cuerpo y el resto de los sentidos. Cada experiencia emocional de la arquitectura es multisensorial, las características del espacio, materia y escala se miden en partes iguales por el ojo, el oído, la nariz, la piel, la lengua, el esqueleto y el músculo (Pallasmaa, 2012). Esto quiere decir que las cualidades del cuerpo y

el movimiento nos permiten desarrollarnos en el espacio en que vivimos, ya que el cuerpo nos permite dimensionar el espacio por medio del movimiento. Todos los sentidos, incluidos la vista, pueden, considerarse como extensiones del sentido del tacto, como especializaciones de la piel y el entorno; entre la interioridad opaca del cuerpo y la exterioridad del mundo.

El hombre primitivo, utilizaba su cuerpo como el sistema para dimensionar y dar proporciones a sus construcciones. Las destrezas esenciales para ganarse la vida en las culturas tradicionales se basaba en la sabiduría del cuerpo almacenada en la memoria háptica, ya que el cuerpo sabe y recuerda. El significado arquitectónico deriva de las respuestas y reacciones arcaicas que el cuerpo y los sentidos recuerdan. Así, el movimiento del cuerpo es la posibilidad de acción que separa a la arquitectura del resto de formas de arte. Como consecuencia de esta supuesta acción, una reacción corporal es un aspecto inseparable de la experiencia de la arquitectura, una experiencia arquitectónica significativa no consiste simplemente en una colección de imágenes retinianas. Los elementos de la arquitectura no son unidades visuales o Gestalt, son encuentros, enfrentamientos que interactúan con la memoria (Pallasmaa, 2012). Asimismo, en dicha memoria el pasado es incorporado en las acciones, más que estar contenido separadamente en algún lugar de la mente o el cerebro, el pasado es un ingrediente activo de los mismos movimientos corporales que llevan a cabo una acción particular (Edward. Casey, 2000). Nuestra capacidad de memoria no sería posible sin una memoria corporal. Recordamos a través de nuestros cuerpos tanto como a través de nuestro sistema nervioso y nuestro cerebro. Estas cualidades son importantes, ya que resaltan la significancia de la capacidad del cuerpo para recordar y puede ser implementada a un lenguaje corporal que sea fácilmente recordable para el ser humano ya que las características de los gestos que se deseen usar serán más fácilmente recordables al ejecutarse con el cuerpo.

Por otra parte, el estudio de los movimientos del cuerpo en el contexto de la gestión científica fue precedido por los estudios de movimiento de las artes escénicas en donde fueron pioneros Delsarte, Dalcroze y von Laban. Desmond, considera que los movimientos del cuerpo son primariamente como un fenómeno social en el cual enactuamos nuestro

lugar en la sociedad (Rothe, 2012). Laban por su parte, inventó un lenguaje para describir las formas de los diferentes movimientos del cuerpo y el esfuerzo involucrado en realizarlos. Sus análisis mostraron una imagen clara de la relación entre movimiento, espacio y tiempo. Su más importante legado es la Labanotation que desarrollo para grabar y analizar el movimiento humano. Fue notablemente usado para caracterizar los movimientos de los trabajadores realizando tareas específicas en la agricultura para identificar las formas más eficientes de hacer esas tareas. Uno de los descubrimientos más importantes de Laban indicaron que dos personas no realizan una tarea de la misma manera, es decir todos tenemos nuestros propios movimientos de patrones individuales (Moradi y Wiberg, 2016). Este aspecto, es algo a considerar para la selección de los medios digitales para la interacción con el cuerpo de los habitantes.

Tomando en cuenta estas ideas anteriormente mencionadas, para crear un una edificación que permita modificarse físicamente por medio de movimientos corporales, se propuso implementar un sistema que permitiera el reconocimiento de gestos de los habitantes. Existen algunas propuestas con métodos similares, como la de Biswas, K. K., & Basu, S. K. (2011) que proponen el uso de la cámara de profundidad del sensor Kinect y un sistema de entrenamiento usando una máquina de vector de soporte multiclase para reconocer distintos gestos. También, Caridakis, G., Karpouzis, K., Pateritsas, C., Drosopoulos, A., Stafylopatis, A., & Kollias, S. (2008) proponen el reconocimiento de gestos contemplando únicamente la trayectoria de la mano usando un mapa autoorganizable para modelar la información espacial y modelos de Markov para codificar el aspecto temporal de la posición de la mano con una trayectoria y Jalal, A., Kim, Y., Kamal, S., Farooq, A., & Kim, D. (2015) que presentan un sistema de reconocimiento de imágenes de profundidad para monitorear y reconocer actividades diarias humanas, sin agregar marcadores ópticos o sensores de movimiento pero usando un sensor kinect para mejorar los métodos de extracción. Así, presentan un método de representación y extracción usando una secuencia de siluetas en imágenes de profundidad en la que primero extraen la silueta de profundidad removiendo el fondo de efectos de ruido y después extraen las articulaciones y características corporales como detección de color de piel y múltiples vistas(ej. Frontales y laterales) de la figura del cuerpo de las siluetas de profundidad para

posteriormente combinan las articulaciones con la figura del cuerpo y generar un vector característico. Después, usan un Mapa autoorganizable para entrenar y evaluar los vectores característicos y poder valorar el reconocimiento de gestos.

Tomando en cuenta las características de estos experimentos que requieren el reconocimiento de gestos, se optó por la implementación de una red neuronal, ya que distintos autores las han utilizado para el reconocimiento de gestos como. Así, se propuso generar un experimento con un algoritmo de aprendizaje para valorar su funcionamiento, sus cualidades interactivas y adaptables y así determinar si la 'propuesta funcionaría para modificar los espacios arquitectónicos por medio de movimientos corporales en tiempo real de manera intuitiva.

Por otra parte, cabe señalar que hay arquitectos que han implementado la interacción corporal como Bouzanjani en el proyecto *Alloplastic architecture* presentado en la conferencia de ACADIA 2013 en la que pretende comprobar que el ambiente físico puede ser diseñado para cambiar formalmente de acuerdo a varias ejecuciones en el espacio, basadas en gestos del cuerpo del usuario. El experimento de desarrolla con una bailarina y una estructura. que por medio de los movimientos de la bailarina la estructura responde configurándose físicamente y aprendiendo de los usuarios. Sin embargo, la autora señala que su implementación produce resultados impredecibles y muestra operaciones emergentes. Por lo que no propone un método que permita al usuario elegir la configuración de la estructura, sino que el sistema interpreta el movimiento del cuerpo de manera impredecible.

Tomando esto en consideración, para comprender la propuesta es necesario explicar que son las redes neuronales y en que contextos se han implementado en el diseño arquitectónico.

3.5 Reconocimiento de gestos por medio de redes neuronales

Las redes neuronales artificiales son sistemas de procesamiento masivo de información paralelamente distribuida que asemejan redes neuronales biológicas del cerebro humano y son capaces de resolver problemas complejos de gran escala, cómo el reconocimiento de patrones, modelamiento no lineal, clasificación y control. (Govindaraju, 2000a). También, las redes neuronales artificiales (RNA) son consideradas herramientas computacionales que han encontrado una extensa aplicabilidad en la resolución de problemas complejos del mundo real. Las RNA se definen como estructuras formadas por elementos de procesamiento altamente interconectados (llamados neuronas artificiales o nodos), que son capaces de realizar cómputos masivos de forma paralela para el procesamiento de datos y de representación del conocimiento. Lo más atractivo de las RNA son sus características de procesamiento de la información de una forma no lineal, que permite el aprendizaje y la capacidad de generalización (Basheer y Hajmeer, 2000).

Existe una gran cantidad de tipos de redes neuronales artificiales, pero todas se caracterizan por estar compuestas por un conjunto de neuronas artificiales o nodos y conexiones entre los nodos. Los nodos pueden verse como unidades computacionales que reciben entradas y las procesan para obtener una salida. Este procesamiento puede ser simple (como sumar las entradas) o bastante complejo (como un nodo que contiene otra RNA). Las conexiones determinan el flujo de información entre los nodos y pueden ser unidireccionales o bidireccionales. Así, la interacción entre los nodos a través de las conexiones, conlleva a un comportamiento global de la red que no puede ser observado en cada uno de los elementos de la red de forma independiente. Se dice que este comportamiento global es emergente, lo que indica que las habilidades de las RNA es más que la suma de cada uno de los elementos que la componen (Gershenson 2003).

Por otro lado, la habilidad de aprender es una característica perteneciente a los sistemas inteligentes, biológicos o de otro tipo. En los sistemas artificiales, el aprendizaje se define como un proceso de actualización de las representaciones de un sistema, en respuesta a los estímulos externos, de tal forma que se pueda llevar a cabo una tarea específica (Basheer y Hajmeer, 2000). Esto incluye la modificación de la arquitectura de la red (la forma en que

las neuronas artificiales se conectan entre sí), lo que implica ajustar los pesos de las conexiones entre las neuronas artificiales o cambiando las reglas de la tasa de disparo de las neuronas de forma individual (Schalkoff, 1997). El aprendizaje de las RNA se lleva a cabo de forma iterativa, mientras a la red se le presentan ejemplos de entrenamiento similares a los que llevará a cabo en la experiencia real. Por lo tanto, es posible decir que una RNA aprendió cuando es capaz de sobrellevar información confusa y probabilística sin poder notar un efecto en la calidad de la respuesta y generalizar la tarea que aprendió a nuevas tareas (Basheer y Hajmeer, 2000). Otro aspecto de las RNA es que se pueden clasificar de distintas formas dependiendo de uno o más de sus características importantes. Generalmente, la clasificación de las RNA puede basarse en: la función por la cual se diseñó la RNA (el problema que resolverá), el grado de conectividad entre las neuronas artificiales de la red (parcialmente conectada, totalmente conectada), la dirección del flujo de información entre la red (recurrente o no recurrente, el tipo de algoritmo de aprendizaje utilizado, las reglas de aprendizaje y el grado de supervisión de aprendizaje necesitado para el entrenamiento de una RNA(Basheer y Hajmeer, 2000).

Una red neuronal artificial debe ser configurada de tal manera que la aplicación del grupo de entradas produzca el grupo de salidas deseadas. Hay varios métodos para ajustar las fortalezas de las conexiones existentes. Una manera de ajustar los pesos explícitamente es usando un conocimiento *a priori* y otra es la de entrenar la red neuronal enseñándole patrones y cambiando sus pesos de acuerdo a alguna regla de aprendizaje. El aprendizaje se puede dividir en aprendizaje supervisado o asociativo, el cual la RNA es entrenada dándole entradas e igualando patrones de salida. Estos pares de entrada-salida se pueden proveer por un enseñante externo o por el sistema que contiene la red(auto-supervisada) . El otro tipo de aprendizaje es el no supervisado o auto organizable, en el que una unidad de salida es entrenada para que responda por medio de patrones de agrupaciones según la entrada. Se supone que el sistema descubra de forma estadística las características salientes de la población o datos de entrada. A diferencia del aprendizaje supervisado no hay u grupo *a priori* de categorías en la que los patrones deben ser clasificados sino que el sistema debe desarrollar su propia representación de los estímulos entrantes. Los dos tipos de aprendizaje

resultan de un ajuste de los pesos de las conexiones entre las unidades en base a una regla de modificación. Virtualmente, todas las reglas de aprendizaje para los modelos de este tipo pueden ser considerados como una variante de la regla de aprendizaje Hebbiano. La cual tiene como idea que si dos unidades j y k se activan simultáneamente, su interacción debe ser reforzada (Kröse, B., Krose, B., van der Smagt, P., & Smagt, P. 1993).

Basheer y Hajmeer (2000) consideran que las RNA se utilizan para resolver problemas que se pueden clasificar en las siguientes categorías: Clasificación de patrones, en donde se afronta la problemática de asignar a un patrón de entrada desconocido, mediante aprendizaje supervisado, a una de varias clases pre especificadas, basadas en uno o más propiedades que caracteriza a una categoría dada. Agrupación, que se lleva a cabo mediante aprendizaje no supervisado, en donde las clases en que se van agrupando, se generan a partir de las similitudes y diferencias entre los patrones del input, basados en correlaciones internas. La red asigna patrones similares a la misma agrupación. Funciones de aproximación (modelamiento), que involucra el entrenamiento de una RNA con los datos del input-output, de tal forma que sea posible ir aprendiendo las reglas, relacionando los inputs a los outputs. Predicción, que requiere del entrenamiento de una RNA con ejemplos seriados en el tiempo que representen cierto fenómeno en un escenario dado, para después usarlo para predecir el comportamiento en nuevos escenarios. Optimización, la cual implica poder encontrar la solución que maximice o minimice la función objetivo, bajo un conjunto de limitaciones o restricciones. Asociación, que para esto, es necesario desarrollar un patrón de asociaciones al entrenar la RNA con datos limpios (sin ruido) para después usar esta RNA para clasificar datos poco claros (por ejemplo, detectar algo nuevo). La RNA asociativa podría ser usada para corregir datos pocos claros o confusos, como reconstruir una imagen o agregar datos completos que faltan y control, que se relaciona con el diseño de una RNA recurrente, la cual contendrá un sistema de control adaptativo para generar los inputs de control requeridos de tal forma que el sistema seguirá cierta trayectoria, basada en la retroalimentación del sistema (Jain, Mao y Mohiuddin, 1996).

Por otra parte, la implementación de algoritmos para reconocimiento de patrones como las redes neuronales ya han sido aplicadas a la arquitectura con anterioridad. Por ejemplo,

John Frazer(1995) en *An evolutionary architecture* en donde señaló que la labor del arquitecto no era el diseño de edificios o ciudades, sino más bien catalizarlas para que actuaran como si evolucionaran, desarrolló el proyecto *The universal constructor* parecido al proyecto *SEEK* de Negroponte, pero con la peculiaridad de que cada block contenía un microcontrolador para comunicarse con otros bloques que estaban apilados arriba o abajo, que mandaban señales a las personas por medio de luces que indicaban la posible respuesta que tendrían y solicitan asistencia de las personas para agregar o quitar unidades. Para desarrollar esta idea, Frazer propone distintas estrategias computacionales entre lo que incluye redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos que intentan mejorar la inteligencia embebida de los modelos auto reconfigurables. Posteriormente, Cedric Price en colaboración con Frazer(1995) conceptualizaron el proyecto Generator mencionado con anterioridad, que buscaba una arquitectura en la cual las metas del sistema no fueran definidas por un programa inicial, sino que el edificio se adaptara continuamente al cambio de los requerimientos del cliente en turno, influenciado por la configuración actual del edificio. Debido a que el sistema no estaba orientado a una meta, donde los requerimientos del problema son de alguna manera difusos, necesitaba un mecanismo no supervisado que escogiera resultados emergentes, por lo que la máquina debe entender las entradas cambiantes, para reconocer si debe asesorar en la morfología de la forma. Estas cualidades, les sugirieron el uso de redes neuronales no supervisadas para lograrlo, por lo que utilizaron una red neuronal artificial que tomaba datos espaciales en un espacio con características de alta dimensionalidad a través de un proceso que generaba nuevos diseños a partir de la información obtenida e influenciaba a los usuarios del espacio, que a su vez reinvertían la información al sistema. Esto conllevaba a que a que redefinieran los requerimientos para el próximo ciclo de organización espacial (Kalay, 2004).

Más adelante, Petrovic y Svetel (1999) crearon un algoritmo computacional que asiste al arquitecto para tomar decisiones de diseño, el programa “PDP-AAM” con fotos y palabras eran comparados asociativamente a través de un sistema de diseño de redes neuronales para generar diseños de casa informados y parte del sistema incluía el entendimiento de aptitudes y preferencias de los habitantes a través del aprendizaje de redes neuronales. Más adelante, Langley Derix y Coates, P (2007) usaron un tipo de redes

neuronales crecientes, para generar representaciones de actividad dinámica en ambientes urbanos. Los casos mencionados, son una muestra de cómo las redes neuronales se han intentado integrar a los diseños arquitectónicos con la finalidad de adaptar los espacios un entorno y usuarios cambiantes, según las necesidades del usuario en un momento determinado. Un ejemplo más reciente de la aplicación de redes neuronales es el experimento de *Redes espaciales asociativas en el diseño arquitectónico: Cognición Artificial del espacio usando redes neuronales con la teoría de los grafos espectrales* propuesto por Harding y Derix (2011), que consistió en el uso una red neuronal artificial de dos etapas para el reconocimiento de patrones espaciales y el desarrollo de un dibujo (plano) bidimensional de una sala de exhibiciones usada para alojar exposiciones efímeras. El proyecto consideró que debido a que el espacio era limitado y las salas debían compartir exhibiciones similares, era necesario que el espacio fuera reconfigurado para adaptarse a las características que cambiantes de las exhibiciones y su relación de una con otra. Para desarrollar el experimento, se empleó una red neuronal de mapa autorganizable con el objetivo de organizar las exhibiciones en un esquema en base a sus diferencias. Después, el mapa asociativo se convirtió en un esquema que representa la exhibición y se comparan los esquemas de los grafos para encontrar clústeres y realizarlos de una forma que se pueda construir. Finalmente, retroalimentación es recolectada para asesorar las cualidades de las exhibiciones por si mismas de una forma subjetiva preguntándoles a las personas durante las exhibiciones. Después de un periodo de tiempo, la exhibición se reconfigura según los requerimientos de diseño. El diseño, es un sistema dinámico que usa el aprendizaje para encontrar patrones en las exhibiciones y después las exhibiciones de acuerdo a cualidades influenciadas por los usuarios.

Para la propuesta del reconocimiento de gestos, selecciono un tipo de red neuronal llamado mapa autoorganizable, ya que una de sus cualidades es clasificar datos con alta dimensionalidad, como la que se produce en la captura de los movimientos de los gestos.

El mapa autorganizable (SOM) también llamado mapa de Kohonen o mapa de características de preservación topológica, es un tipo de red neuronal artificial que es capaz de agrupar, clasificar, estimar, predecir y explorar datos (Kohonen, 2001)(Vesanto,

2000)(Alhoniemi, Hollmén, Simula, Vesanto, 1999) y es un algoritmo de aprendizaje que fue originalmente propuesto por (Kohonen1982a,b). Cabe señalar, que el mapa autoorganizable es un tipo de red neuronal artificial no supervisada que para hacer el reconocimiento de patrones requiere de “ejemplos” para ser entrenada.

Específicamente, las redes SOM aprenden a reunir grupos de patrones de entrada similares de un espacio de entrada de alta dimensionalidad de una manera no lineal, a una retícula discreta de baja dimensionalidad de neuronas en una capa de salida (Kohonen, 2001). Las neuronas localizadas físicamente cerca en la capa de salida del SOM tienen patrones de entrada similares (combinando el agrupamiento y ordenando procesos en el SOM). Es posible generar capas de salida de mayores dimensiones, pero no sería apropiado para propósitos de visualización y no son muy comunes (Vesanto, 1999). Las retículas discretas pueden ser hexagonales o rectangulares de las cuales las hexagonales son más usadas para visualización (Vesanto, 1999, Kohonen, 2001). En general, el algoritmo SOM agrupa las muestras o patrones en clases predefinidas (la cantidad de neuronas son seleccionadas por el modelador) y el orden de las clases en mapas significantes (preservación topológica o propiedades de ordenamiento). La estructura típica de un SOM consiste en dos capas, una de entrada y una de salida o de Kohonen. La capa de entrada contiene una neurona por cada variable en el conjunto de datos. Las neuronas de la capa de salida están conectadas a cada neurona en la capa de entrada por medio de pesos ajustables o parámetros de la red. Los vectores de los pesos en la capa de salida dan una representación de la distribución de los vectores de entrada de una manera ordenada. Los procedimientos sucesivos requeridos para aplicar el algoritmo SOM se puede dividir en

términos generales en recopilación de datos, normalización y el agrupamiento.

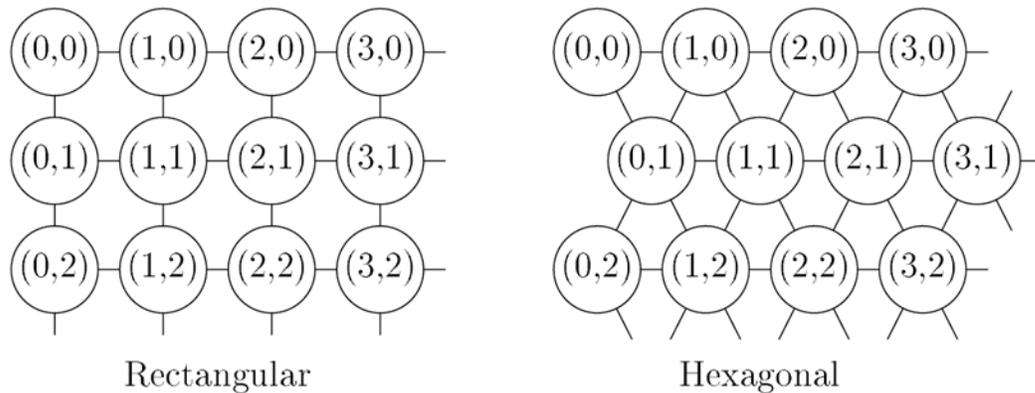


Figura 22. Ejemplos de retícula rectangular y hexagonal del SOM. Recuperado de Kohonen, T., Hynninen, J., Kangas, J., & Laaksonen, J. (1996). Som pak: The self-organizing map program package. Report A31, Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Information Science.

Durante la recopilación de datos y normalización, lo más importante es prevenir que algunas variables tengan mayor impacto al ser comparadas con otras variables. En consecuencia es necesario normalizar los datos, transformando todas las variables a un rango de valores entre 0 y 1, y así asegurar que todas las variables tengan la misma importancia en la creación del SOM (Kalteh, Hjorth, Berndtsson, 2008).

Por otra parte, para el proceso de agrupamiento se toma en cuenta que el SOM consiste en una retícula de unidades de mapa regularmente regular y de dos dimensiones. Cada unidad i es representada por un vector prototipo $m_i = [m_{i1}, \dots, m_{id}]$, donde d es la dimensión del vector de entrada. Las unidades están conectadas a unidades adyacentes por una relación de vecindad. La cantidad de unidades de mapa que típicamente varían de una docena a miles, determinan la exactitud y generalización de la capacidad del SOM. Durante el entrenamiento, el SOM crea una red elástica que se pliega en una “nube” formada por los datos de entrada. Los puntos de datos tendidos cerca de uno a otro en el espacio de entrada son mapeados a unidades de mapa cercanas. Debido a esto, el SOM puede ser interpretado como una topología que preserva el mapeo del espacio de entrada a la retícula de dos dimensiones de las unidades de mapa. El SOM es entrenado iterativamente., y en cada paso del entrenamiento, un vector de muestra x del grupo de datos de entrada es escogido de manera aleatoria (Vesanto, Alhoniemi, 2000). Cabe señalar que el El número de iteraciones

recomendable es de por lo menos 500 veces el número de neuronas en la capa de salida (Kohonen, 2001). Para comenzar el entrenamiento, primero se inicializan los pesos de los vectores usando un método de inicialización aleatorio o lineal. El SOM utiliza un proceso de aprendizaje competitivo, no supervisado, o procedimiento autoorganizable que iguala cada vector de entrada con una neurona del SOM. Este procedimiento implica que se compare el patrón de entrada de la matriz de datos con cada una de los pesos de los vectores de las neuronas. La neurona que sea más similar, se llama neurona ganadora o BMU (Best matching unit). El criterio más usado para saber cuál es la BMU es la distancia euclidiana (Fórmula 6). Después de identificar la BMU, su peso y el de las neuronas que la rodean son actualizados para asemejarse al patrón de entrada. La función más usada es la Gaussiana. (Kaltch, Hjorth, Berndtsson, 2008). Ya que las distancias que hay entre x y todos los vectores prototipo son computadas. La unidad ganadora (BMU) es considerada la unidad de mapa más cercana a x que se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\|x - m_b\| = \min\{\|x - m_i\|\} \quad (1)$$

Después, los vectores prototipo son actualizados. La unidad ganadora y sus vecinos topológicos se mueven más cerca del vector de entrada en el espacio de entrada. La regla que se usa para actualizar el vector prototipo de la unidad i es:

$$m_i(t + 1) = m_i(t) + \alpha(t)h_{bi}(t)[x - m_i(t)] \quad (2)$$

En donde

t es tiempo,

$\alpha(t)$ es el coeficiente de adaptación,

$h_{bi}(t)$ es el kernel de vecindad centrado en la unidad ganadora:

$$h_{bi}(t) = \exp\left(-\frac{\|r_b - r_i\|^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (3)$$

En este kernel, r_b y r_i son posiciones de las neuronas b y i en la retícula del grid.

Las dos $\alpha(t)$ y $\sigma(t)$ decrecen monóticamente con el tiempo. Cabe señalar que también hay una versión del algoritmo en lotes donde el coeficiente de adaptación no es usado (Kohonen, 2001).

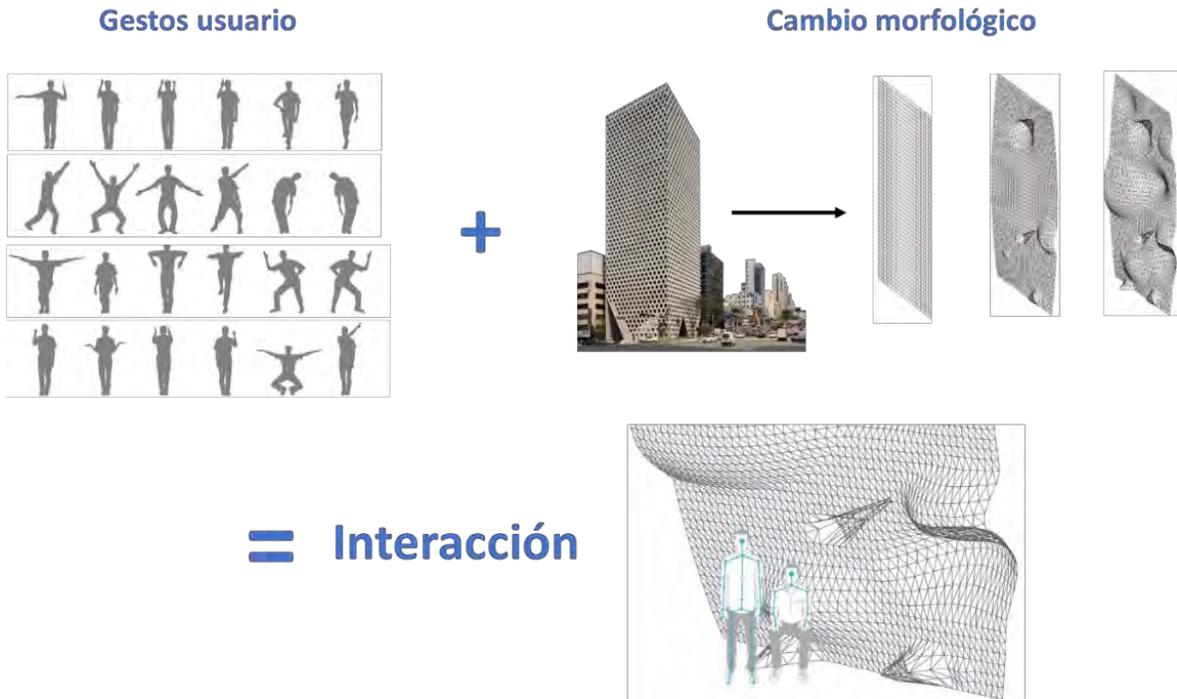
Finalmente, en el caso de un grupo de datos discretos y un kernel de vecindad fija, la función del error del SOM se puede mostrar (Kohonen, 1991).

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M h_{bi} \|x_i - m_j\|^2 \quad (4)$$

En la que N es el número de muestras de entrenamiento y M es el número de unidades de mapa. El kernel de vecindad h_{bi} está centrado en la unidad b , en la cual es la unidad ganadora del vector x_i y evaluada por la unidad j . Si el valor del kernel de vecindad es uno para la unidad ganadora y cero en lo demás, esto conlleva a la minimización de:

$$E = \sum_{k=1}^C \sum_{x \in Q_k} \|x - c_k\|^2 \quad (5)$$

El SOM se reduce a el método del algoritmo adaptativo *k-means* (Moody, Darken, 1989). Si no es el caso, de la fórmula 4. Los vectores prototipo no están en los centroides de los conjuntos de Voronoi, pero son promedios locales de todos los vectores en el grupo de datos pesados por los valores de la función de vecindad (Vesanto, Alhoniemi, 2000).



Así, tomando en cuenta los aspectos señalados para obtener mediante la propuesta de adaptación, elección , *affordances* mediante el reconocimiento de gestos por medio de redes neuronales se diseñó un experimento que permitiera comprobar la funcionalidad del uso de gestos corporales para la elección de modificaciones formales.

4. Experimentación con una Arquitectura interactiva por medio de gestos

4.1 El sistema cinético interactivo

Para probar cuales serían las implicaciones y limitantes de un sistema cinético interactivo, que por medio de reconocimiento de gestos modifica componentes de la edificación. Primero, fue necesario definir los movimientos que el usuario tendría que realizar para ser reconocidos por el sistema, después fue necesario seleccionar un método para obtener la posición de los gestos del sujeto de tal manera que se puedan reconocer distintos patrones de movimiento de varios sujetos con distintas características, posteriormente se implementó una red neuronal artificial para el reconocimiento de los patrones del movimiento de los sujetos y luego se creó un prototipo que permitiera generar variedad de formas para evaluar la

Procedimiento

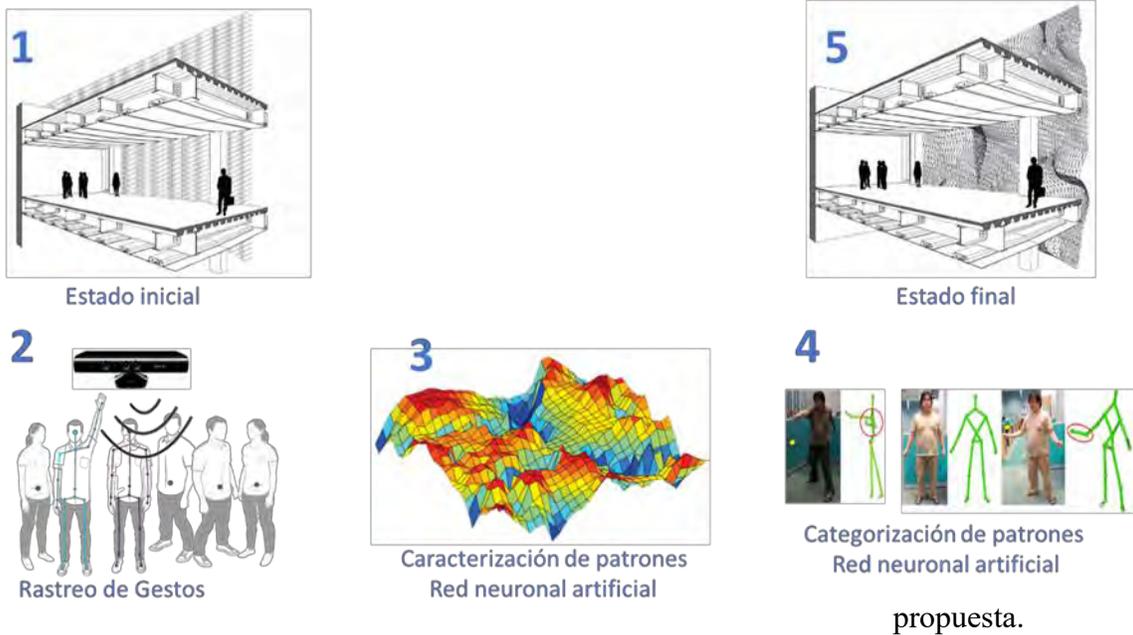


Figura 23. Procedimiento que se pretende obtener para el cambio de forma por medio de gestos.

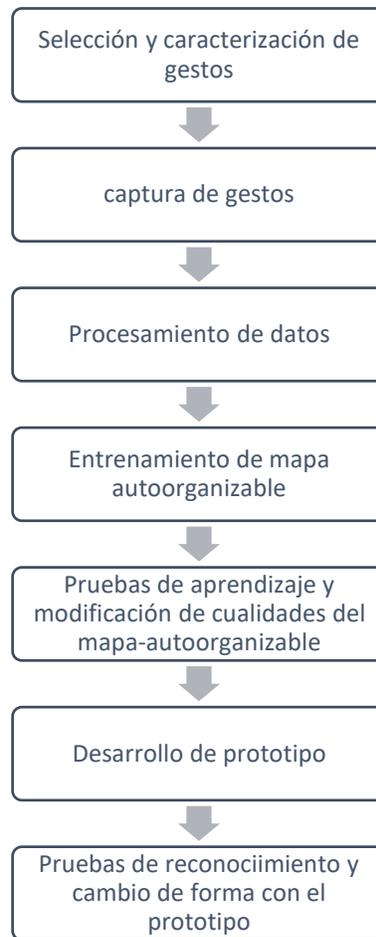


Figura 24. Procedimiento general del experimento

4.2 Instrumentos y especificaciones.

Para el desarrollo de la prueba se usaron:

Tres sujetos

Computadora personal Asus, con procesador Intel® Core™ i7-3610QM CPU @ 2.30GHz (8 CPUs), ~2.30 GHz. Memoria RAM de 16.0 GB (15.9 GB utilizable) 16384MB RAM. Sistema operativo Ubuntu de 64 bits. Modelo del sistema K45VD.

Gráficos: NVIDIA GEFORCE 610m, 2GB

CUDA Cores: 48 cores

Texture Fill Rate: hasta 7.2 (billion/sec)
Interfaz de memoria: DDR3
Ancho de memoria: 64bit
Ancho de banda de memoria: hasta 14.4 (GB/sec)
OpenGL: 4.5
OpenCL : 1.1
Bus Support: PCI Express 2.0
DirectX: 12 API
Maximum Digital Resolution: Up to 2560x1600
Maximum VGA Resolution: Up to 2048x1536
HDMI
Video Decoders: H.264, VC1, MPEG2 1080p.

Placa Arduino Uno

14 pins entradas/salidas digitales de las cuales 6 pueden ser usadas como salidas PWM
6 entradas análogas
1 Resonador cerámico de 16 MHZ
1 Conexión usb
1 Power Jack
1 cabeza ICSP (In-circuit serial programming)
Botón de reset
Cable para conectar via usb o Poder con un adaptador AC a DC o baterías.
Atmega16U2 programado como un USB a convertidor de seriales
Microcontrolador ATmega328

Voltaje de operación 5V
Voltaje de entrada 7-12V
Límites de Voltaje de entrada 6-20V
Pins digitales I/O 40 mA
DC actual para 3.3V Pin 50 mA

Memoria Flash	32 KB (ATmega328) de los cuales .5 KB son usados para Bootloader
SRAM	2KB(ATmega328)
EEPROM	1KB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25g

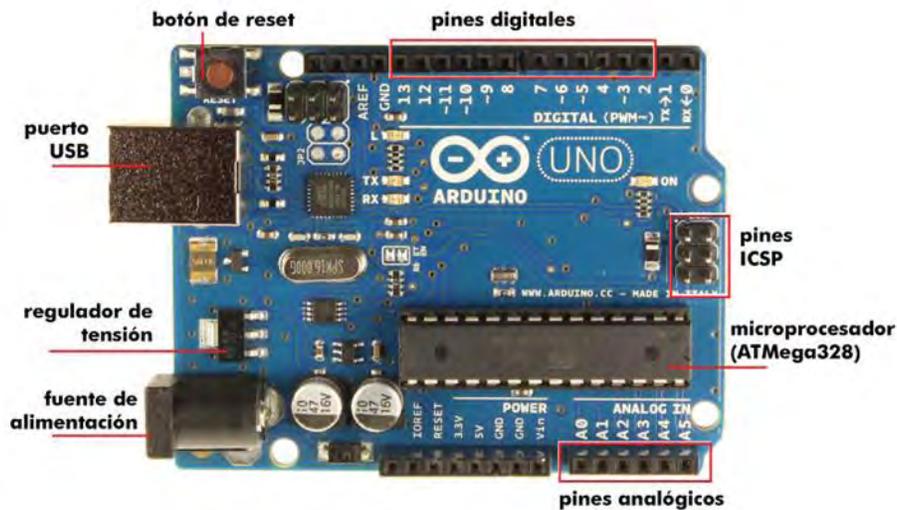


Figura 24. Componentes del microprocesador Arduino uno.

Según el sitio <http://www.arduino.cc/es/>, el microprocesador Arduino se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas Arduino, pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta. La placa Arduino Uno está basada en un microcontrolador Atmega328 de la rma ATMEL. Arduino Uno cuenta con 14 entradas/salidas digitales, 6 entradas/salidas analógicas, una interfaz USB, y 32 K.Bytes de memoria FLASH. La interfaz USB es capaz de suministrar la energía suficiente para la placa y algunos sensores. Estas características lo hacen idóneo para construir pequeños experimentos con sensores y displays sin tener que recurrir a artículos más complejos. El hardware es open-source y se ha creado una comunidad de personas entusiastas que aportan ideas y planes para proyectos de mayor envergadura. La programación del microprocesador se realiza por medio de un entorno de desarrollo integrado (IDE) gratuito que se llama \Arduino. Este programa está escrito en Java y permite usar código C o C++. Después de compilar el código o instrucciones en una computadora personal, estos datos se transmiten a la placa Arduino Uno, la cual cuenta con un sistema operativo con una función de \callback que manda los mensajes a las salidas.

Además del microprocesador arduino uno se utilizó el sensor Kinect 1.5, 1.6, 1.7, 1.8. Este sensor está compuesto por una cámara RGB almacena 3 canales de datos en una resolución de 1280 x 960; uno para capturar imágenes a color, otro como emisor de infrarrojo (IR) y un tercero como sensor de profundidad (IR). El emisor emite un haz de luz

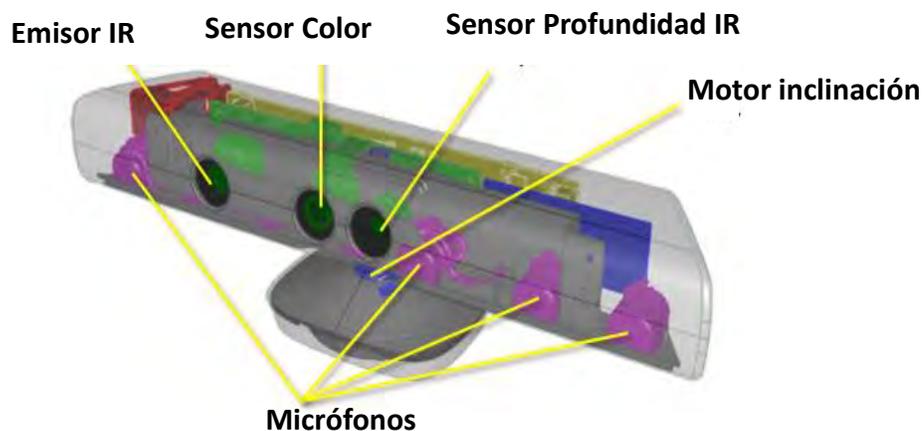


Figura 25. Partes del Kinect v.1.

infrarroja y el sensor de profundidad lee el haz infrarrojo que se refleja de vuelta al sensor. Los haces reflejados son convertidos en información de profundidad midiendo la distancia entre un objeto y un sensor, así se captura una imagen de profundidad. Adicionalmente, cuenta con cuatro Micrófonos para capturar el sonido que permiten grabar audio, así como localizar la fuente de sonido y la dirección de la onda de sonido. También, el acelerómetro es de 3 ejes, configurado para un rango 2G(aceleración debido a la gravedad). Este posibilita determinar la orientación actual del Kinect. Cuenta con un ángulo de visión de 43 grados verticales x 57 grados horizontales y un rango de inclinación vertical de +- 27 grados. Captura a 30 cuadros por segundo. Tiene un formato de audio de 16-KHz, 24-bit mono pulse code modulation (PCM). Audio de entrada con 4 micrófonos con convertidor de 24 bit análogo a digital (ADC) y procesado de señal residente-Kinect, incluyendo cancelación de eco acústico y eliminación del ruido. Las características del acelerómetro son: A= 2G/4G/8G .Configurado para el rango 2D, con un grado de precisión en el límite superior. Por otro lado, La resolución de la corriente de la profundidad es dependiente del rango de cuadros por segundos, y es especificada por la enumeración del formato de profundidad de la imagen. La resolución de la corriente del color es especificada por la enumeración del formato del color de imagen. Como condiciones el sensor no puede estar directamente en la luz solar y generalmente se posiciona al nivel de la cabeza del usuario. Evitar luz no muy brillante y objetos rastreados no muy reflejantes. Su temperatura de operación es de 5 a 35 grados Celsius. La inclinación se controla con Kinect explore – WPF. Cuidar que no haya ninguna luz directa hacia el sensor. El Lenguaje de programación que usa es C# o C++.

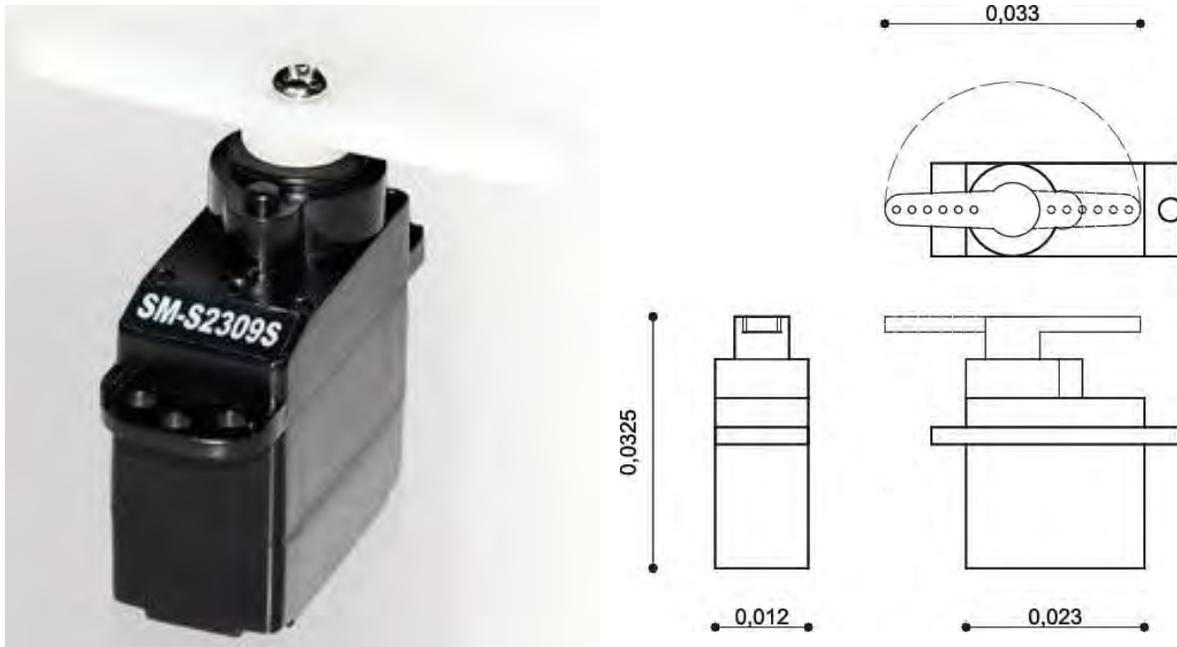


Figura 26. Características de los servomotores. Cotas en metros.

Para el prototipo se usaron 9 Servo motores micro análogo SM-S2309S. Los servomotores tiene una dimensión de 32.5 mm x 12 mm x 23 mm , un peso de 9.9 gr y un cableado de 20 cm. Además, son de 4.8 volts y tiene una velocidad de 0.12 sec/60° y un torque de 1.1 Kg x cm. Tiene un ángulo de rotación de 180 grados.

También, se usó MakerBot Replicator® 2X Desktop 3D Printer para fabricar la estructura del soporte de los servomotores y las piezas que moverían los mismos.

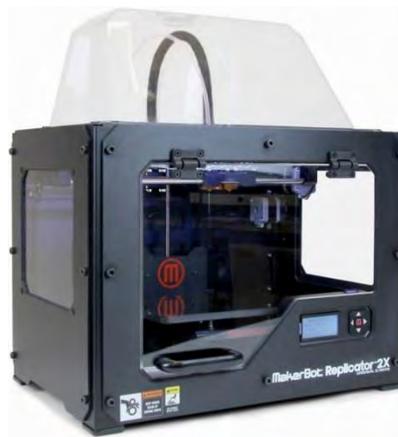


Figura 27. Impresora Makerbot 2x.

Trabaja por medio de filamento fundido, tiene un volumen de impresión: 9,7” de ancho x 6,4” de largo x 6,1” de alto [24,6 cm x 16,3 cm x 15,5 cm], ajustes de altura de capa alta 100 micras (0,0039 in), media 200 micras (0,0079 in), baja 300 micras (0,0118 in) y precisión de posicionamiento: XY de 11 micras (0,0004 in); Z: 2,5 micras (0,0001 in). El diámetro del filamento que se usó para la impresión fue de 1,75 mm (0,069 in) y el diámetro de la boquilla de 0,4 mm (0,015 in). Funciona con el software MakerBot MakerWare y sus archivos admitidos son STL, OBJ, Thing. Es compatible con Windows [7+], Ubuntu [11.10+] y Mac OS X [10.6+]. Tiene una dimensión de 19,1 x 16,5 x 14,7 in (49 x 42 x 38 cm) con bobinas. Peso de 27,8 lbs (12,6 kg), una temperatura ambiente de funcionamiento: 15°–32 °C (60°–90 °F). Sistema eléctrico entrada de CA: 100–240 V, ~4 amps, 50–60 Hz. Potencia requerida: 24 V CC a 9,2 amps. Conectividad: Tarjeta SD (FAT16, 2 GB máx.). Chasis: acero con recubrimiento lacado, paneles de PVC. Plataforma de impresión: aluminio 356,.Rodamientos XYZ: bronce de alta resistencia, impregnado con aceite. Motores paso a paso.

Por otro lado, para la creación de los programas se usó Processing versión 2.2.1 64 bits con Open NI versión 1.96. que es un lenguaje de programación de código abierto, y un ambiente de desarrollo integrado para las artes electrónicas, artes y nuevos medios, comunidades de diseño visual con el propósito de enseñar los fundamentos de programación en computadora, en un contexto visual y servir como las bases para sketches electrónicos. El proyecto fue iniciado en 2001 por Casey reas y Benjamin Fry. El lenguaje está construido en lenguaje Java, pero usa una sintaxis simplificada y un modelo de programación de gráfico (Reas, C., y Fry, B., 2007).

4.3 Selección de gestos

Si tomamos en cuenta que los gestos son movimientos expresivos y significativos del cuerpo que implican movimientos de los dedos, manos, brazos, cabeza, cara o cuerpo para transmitir información significativa o interactuar con el ambiente (Mitra, S., & Acharya, T., 2007). La cantidad, tipos y características de gestos a realizar por parte del usuario y a identificar por parte del sistema, están basadas en comprobar la funcionalidad de la propuesta en situaciones cotidianas dentro de un espacio arquitectónico. La cantidad de gestos que el sistema podría aprender son muchos, por lo que es necesario tomar en cuenta la conducta de los usuarios cuando se encuentran en un edificio. En cualquier escenario, puede haber una o múltiples personas llevando a cabo diferentes actividades, por lo que la cantidad de gestos óptimo estaría determinada por la cantidad de gestos que necesitaría cada persona para generar sus propias morfologías según sus necesidades en un espacio y momento determinado. Consecuentemente, se necesitarían muchos gestos y el sistema tendría que funcionar con una gran cantidad de gestos durante la vida útil del espacio donde se encuentre. Sin embargo, para la propuesta se consideró únicamente el reconocimiento de los gestos de una persona a la vez.

Por otro lado, para la caracterización de los gestos se buscó que transmitieran información significativa de forma cómoda e intuitiva, por lo que se propuso que los gestos fueran realizados con la mano derecha incluyendo las posiciones resultantes del hombro, codo y mano. También, se consideró que la cantidad de gestos fuera suficiente para evaluar la capacidad de reconocimiento los distintos gestos por parte del sistema, por lo que se

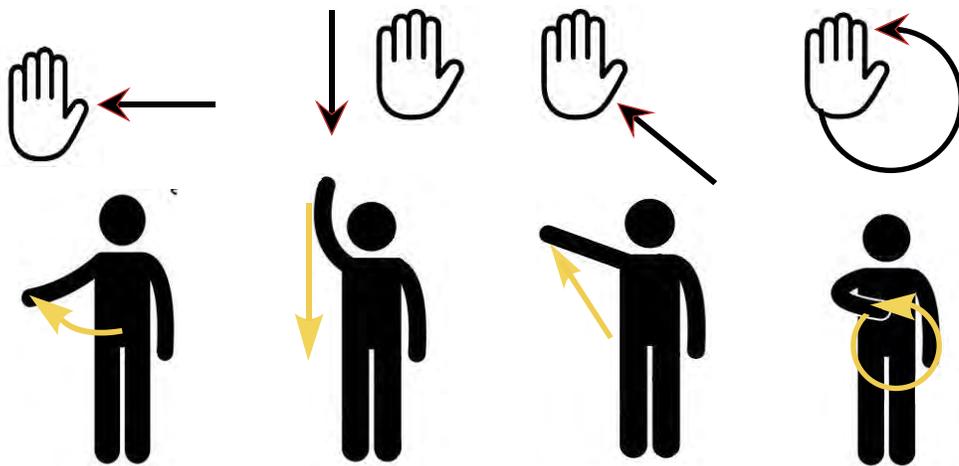


Figura 27. Tipología de los Gestos.

propuso la ejecución de 4 gestos que representaran movimientos simples y fáciles de recordar los cuales se muestran de manera esquemática en la figura 4.2.1. El primer gesto implica un movimiento horizontal iniciando con la mano estirada moviéndola a la derecha, el segundo es un movimiento vertical iniciando con la mano arriba extendida terminando con la mano abajo hasta pegar con la cintura, el tercer es un movimiento diagonal iniciando con la mano arriba del lado izquierdo, moviendo la mano hacia debajo de manera diagonal hacia el lado derecho hasta tocar con la cintura y el cuarto es un movimiento circular que inicia con el brazo extendido y la mano al centro se hace un giro con la mano en forma de círculo en el sentido de las manecillas del reloj y se finaliza en el mismo punto de inicio. Así, ya con los gestos definidos se dispuso a elegir el método de reconocimiento de gestos.

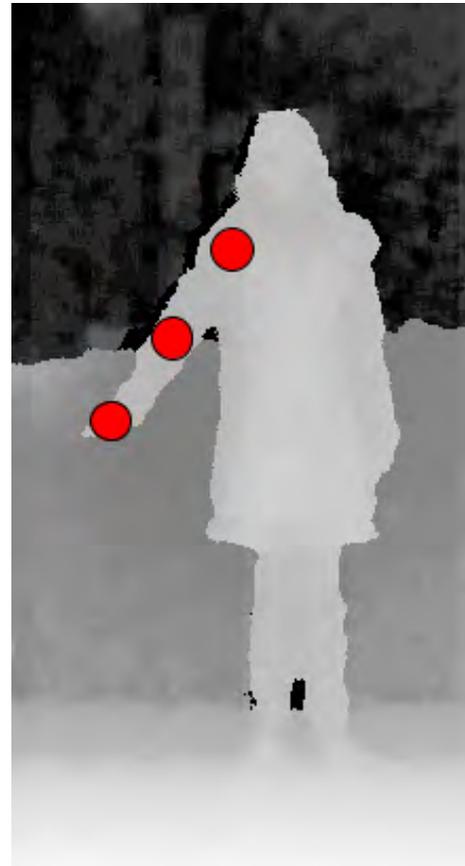


Figura 28. Visión de infrarrojo del Kinect. Se observan la localización del brazo derecho (hombro, codo y mano) de una persona.

4.4 Captura de gestos

Para capturar los gestos, primero fue necesario crear un programa en Processing para que por medio del sensor infrarrojo del Kinect y la librería openNI se pudiera rastrear el “esqueleto del cuerpo de los sujetos”, de tal manera que el sensor de profundidad localiza las articulaciones en un espacio tridimensional virtual x, y, z , que traduce las coordenadas espaciales a numéricas como dato de salida, lo que permite capturar los vectores de la posición del brazo derecho; la mano derecha, codo derecho y hombro derecho de los sujetos al realizar los gestos.

Inicialmente, la captura de los gestos se diseñó para comenzar a capturar y terminar la captura por medio del teclado, pero después tuvo que ser modificado para hacer la captura en tiempo real. La captura se hizo a 30 cuadros por segundo.

4.5 Procesamiento de datos e implementación del mapa autoorganizable (SOM)

Una vez capturados los gestos el paso a seguir, fue continuar con el desarrollo de la red neuronal artificial e incorporar los datos.

Primero se agregó al programa un método para que los gestos pudieran ubicarse en el mismo espacio de tal manera que mantuvieran sus mismas características sin ningún tipo de deformación. Para esto, los gestos se tuvieron que procesar por tres pasos: traslado, normalizado y muestreo. El primer paso, se añadió al proceso de reconocimiento de gestos para generar correspondencia entre los datos, ubicando los gestos capturados en una misma posición inicial, desplazando la primer coordenada capturada de cada gesto o t_1 , al origen del espacio euclídeo, ($x=0, y=0, z=0$), de tal manera que, la distancia a la que se desplaza cada una de las coordenadas que componen a la trayectoria de un gesto, es la misma. De ahí que, las trayectorias de los gestos después de ser trasladados, terminen con la misma posición inicial. Posteriormente, se desarrolló el segundo paso para ubicar los gestos en un mismo espacio y modificar el rango de los valores originales a valores más manejables para después simplificar el desarrollo del mapa autoorganizable. Para esto, se tuvieron que escalar o mapear los gestos trasladados de manera proporcional, tomando en cuenta la distancia entre la primer y última coordenada de cada gesto convirtiéndolo un rango de valores que van de 0 a 1. Para normalizar los datos fue imprescindible primero ubicar en que dimensión de la trayectoria de cada gesto se encontraba el valor más distante a t_1 , para que esta distancia se tomara como valor correspondiente a 1. Luego, ya con este valor, se escala cada gesto según su tamaño y posición en el espacio para que todos los gestos queden en un mismo espacio con valores menores a 1. Después de terminar la normalización, se debe tomar en cuenta que para ingresar los datos al mapa

autoorganizable, cada uno de los diferentes tipos de gestos, tienen que tener la misma cantidad de vectores para que puedan ser comparados por la red neuronal artificial, por lo que los gestos normalizados deben pasar por un proceso de muestreo. Así que, si tomamos en cuenta que cada gesto al ser ejecutado y capturado tiene una trayectoria, una velocidad y una longitud distinta, esto conlleva a que la cantidad de vectores sea distinta en cada trayectoria, a pesar de que sean el mismo gesto. Además, como cada uno de los tipos de gestos propuestos tienen distintas cualidades, la cantidad de vectores que cada uno puede tener es muy variable. Por consiguiente, para definir el número de vectores que se seleccionaran durante el muestreo de los gestos, es necesario hacer pruebas de ejecución y captura de los gestos para cuantificar los vectores resultantes de cada ejecución y después poder obtener el promedio de los vectores que se capturan al realizar cada gesto. Una vez obtenidos los promedios de los vectores de los grupos de cada tipo de gesto, es necesario seleccionar una cantidad de vectores que eviten modificar las características de los gestos, su tiempo de ejecución y su movimiento intuitivo. Debido a estos aspectos a considerar, es necesario primero hacer pruebas de ejecución y captura con los distintos gestos. Ahora bien, ya con el procesamiento de datos finalizados se puede iniciar con el desarrollo del mapa autoorganizable.

Tomando en cuenta que la intención es reconocer los gestos capturados de los sujetos, el procedimiento a seguir contemplando las cualidades del SOM antes del entrenamiento del mapa autoorganizable, fue obtener el nodo con el valor de mayor semejanza al vector de entrada, comparando los pesos de entrada con todos los nodos de la red para seleccionar la “unidad de mayor semejanza” por medio de la fórmula de la distancia euclidiana:

$$distancia = \sqrt{\sum_{l=0}^{i=n} (v_l - w_l)^2} \quad (6)$$

En donde v_i son los vectores de entrada y w_i es el vector de pesos de los nodos. Después de obtener la unidad con mayor semejanza, el siguiente paso fue calcular cual era el radio de influencia del nodo que tuvo la mayor semejanza con la entrada y determinar cuáles de los

otros nodos están dentro del vecindario de la unidad de mayor semejanza para ser alterados. Para hacer esto, se calcula el radio del vecindario y después se determina si cada nodo está dentro de la distancia radial o no. Posteriormente, se calcula la tasa de decaimiento del radio durante las iteraciones, por medio de una función exponencial de decaimiento:

$$distancia = \sigma(T) = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \quad (7)$$

En donde:

$$\sigma_0 = \frac{radio(ancho\ SOM * alto\ SOM)}{2} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{iteración}{\log(radio)} \quad (9)$$

La variable σ se refiere al ancho de la matriz de nodos, T es el ancho de la matriz en un momento determinado, σ_0 es una constante de tiempo y t es la iteración en la que se encuentra. Enseguida, ya con el decaimiento obtenido, el valor del radio va disminuyendo hasta quedar sólo la unidad de mayor semejanza en el vecindario. Después, se determina cuales nodos son parte o no del vecindario, y para aquellos que lo son, sus pesos son ajustados incluyendo la unidad de mayor semejanza con la sección de la siguiente ecuación señalada con anterioridad:

$$W(t + 1) = W(t) + L(t)(V(t) - W(t))$$

En donde la variable t representa el paso del tiempo, L es la tasa de aprendizaje que decrece con el tiempo, W es el peso más una fracción de la diferencia L entre el viejo peso y el vector de entrada V . El decaimiento del radio es calculado con la siguiente fórmula:

$$L(t) = L_0 \exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \quad (10)$$

Al decaimiento del radio se le da un valor inicial de 0.1 y con las iteraciones llega casi hasta cero. También, debido a que el efecto del aprendizaje debe ser proporcional a la distancia de cada nodo al nodo de mayor semejanza, es necesario implementar la función gaussiana agregándola a la ecuación mencionada anteriormente $\theta(t)$ que representa el kernel de la unidad ganadora o la cantidad de influencia que tiene la distancia de un nodo a la unidad de mayor semejanza.

$$W(t + 1) = W(t) + \theta(t)L(t)[V(t) - W(t)] \quad (2)$$

$$\theta(t) = \exp\left(-\frac{\text{dist}^2}{2\sigma^2(t)}\right) \quad (3)$$

En donde θ es el ancho de la función de vecindad que decae con el paso del tiempo y $dist$ es la distancia del nodo de la unidad de mayor semejanza. Este proceso se repite durante un número de iteraciones que se determina en base a pruebas de rendimiento. Con este último paso, se finaliza la modificación de los pesos de los nodos y el entrenamiento de la red.

En lo que se refiere al programa para reconocimiento de gestos en línea, se necesitó crear un método para iniciar y finalizar la captura de gestos, para después trasladarlos, normalizarlos y compararlos con los valores resultantes de los pesos de los nodos del mapa autoorganizable. Para iniciar y terminar la captura de los gestos, se usaron las posturas iniciales y finales de los cuatro gestos anteriormente descritos. Lo cual conllevó a obtener la posición de las extremidades con el sensor kinect y Open NI. Para reconocer la pose inicial y final del sujeto durante la ejecución del gesto, para respectivamente iniciar y finalizar la captura. Dicho lo anterior, se procesan los vectores de los gestos capturados para posteriormente compararlos con el valor de los nodos entrenados por medio de la distancia euclidiana. Además, aquel nodo que se encuentre más cercano a los vectores de la trayectoria del gesto será el que determinara a que gesto pertenece Así, ya con el programa de reconocimiento de gestos terminado se continuó con el prototipo.

4.6 Prototipo

Después del desarrollo del método para el reconocimiento de gestos, se diseñó y construyó un prototipo con la intención de que interactúe con los sujetos por lo menos con un cambio formal por cada uno de los cuatro gestos a ejecutar, para así evaluar el sistema.

Con el fin de mostrar de forma simple y clara la interacción para el cambio de morfología se eligieron figuras miméticas a los gesto. De modo que para el gesto vertical, se eligió provocar un relieve vertical, para el gesto horizontal un relieve horizontal, para el diagonal un relieve diagonal y para el circular un relieve circular.

Por otra parte, las características del prototipo fueron seleccionadas con el objetivo de probar el funcionamiento del sistema como medio para modelar el espacio a través de “píxeles” móviles. Para su diseño se buscó reflejar que para que un elemento arquitectónico cambie de forma, deberá estar fabricado de un material maleable, que mientras más elástico y deformable sea, mayor cantidad de posibilidades permitirá generar. Es decir, mientras la superficie a deformar esté dividida en un mayor número de secciones móviles, las posibilidades para generar superficies más definidas y más complejas son mayores. Por consiguiente, para el movimiento de las secciones del prototipo se seleccionaron micro-servomotores, ya que son pequeños, tienen un movimiento lineal, son de bajo costo, tienen gran torque y una velocidad de movimiento regulable. Además, se optó por una geometría modular que refleje que con un mismo módulo se podrían generar elementos arquitectónicos más complejos y a distintas escalas para que cambien de forma.

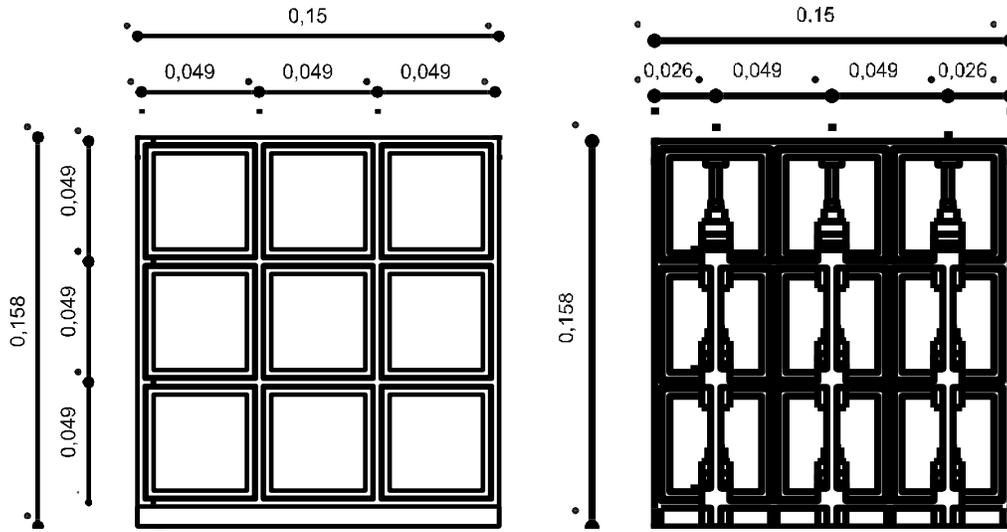


Figura 29. Prototipo. Vista Frontal y trasera

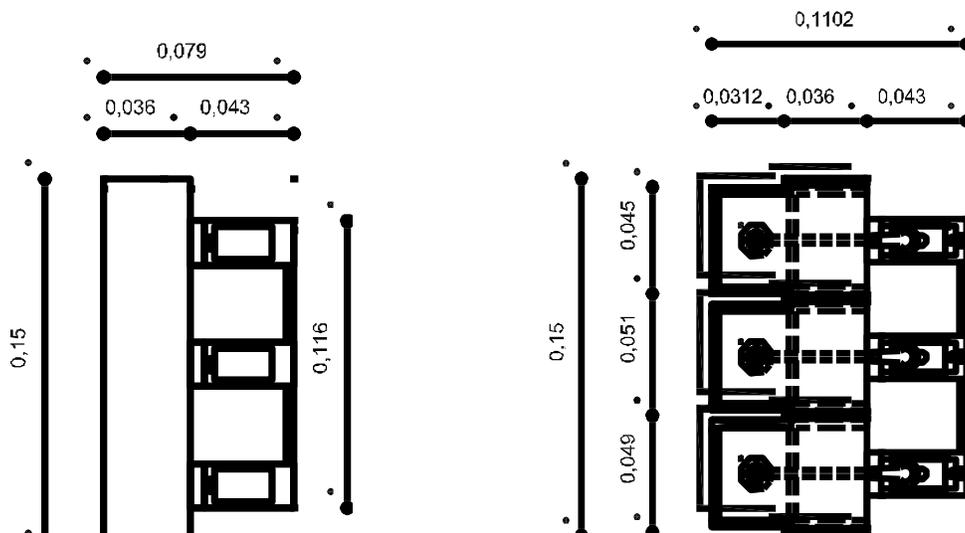


Figura 30. Prototipo. Planta y corte de la planta

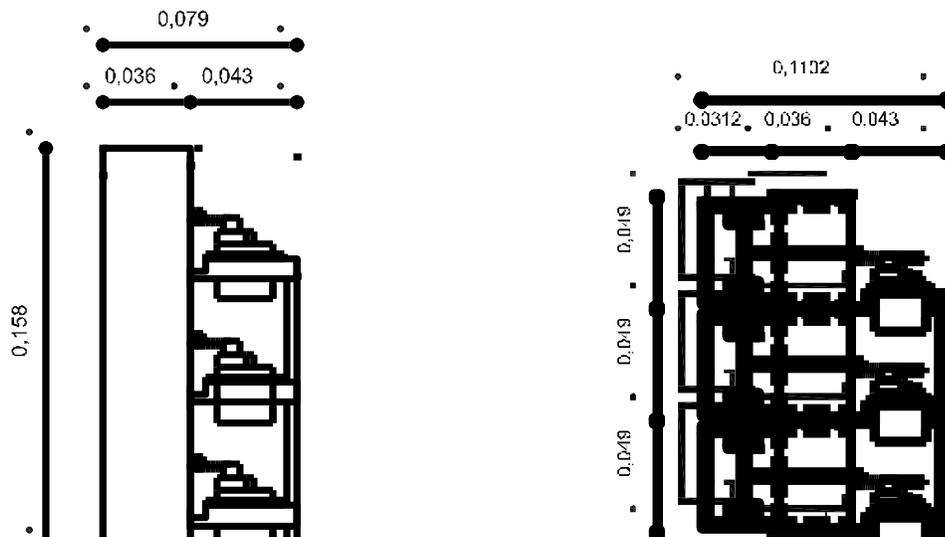


Figura 31. Prototipo. Vista lateral y corte lateral.

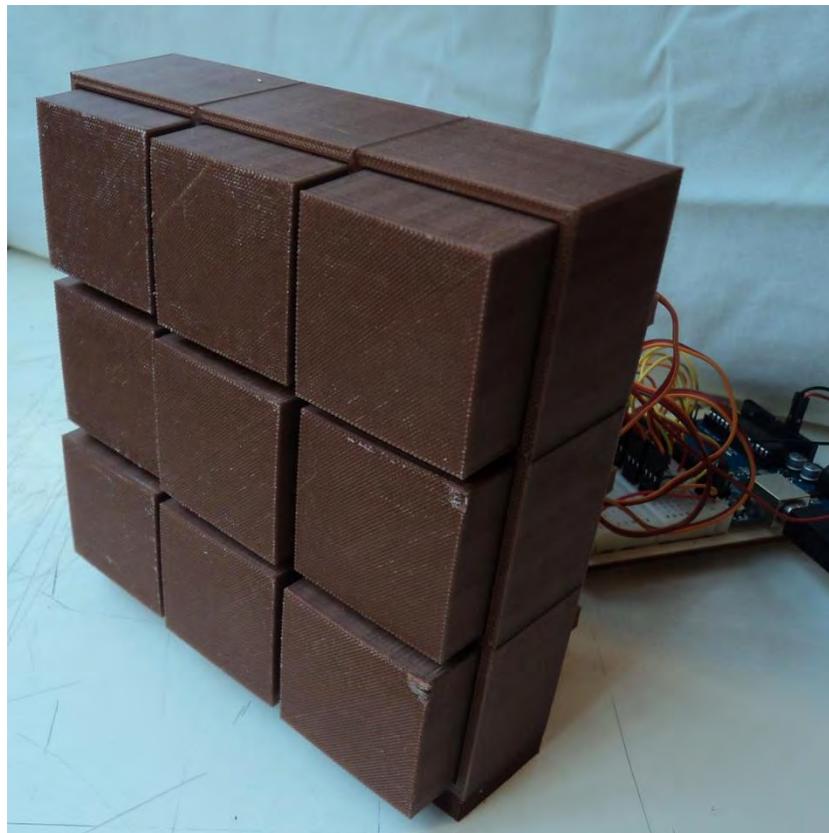


Figura 33. Prototipo.



Figura 33. Prototipo.



Figura 33. Prototipo.

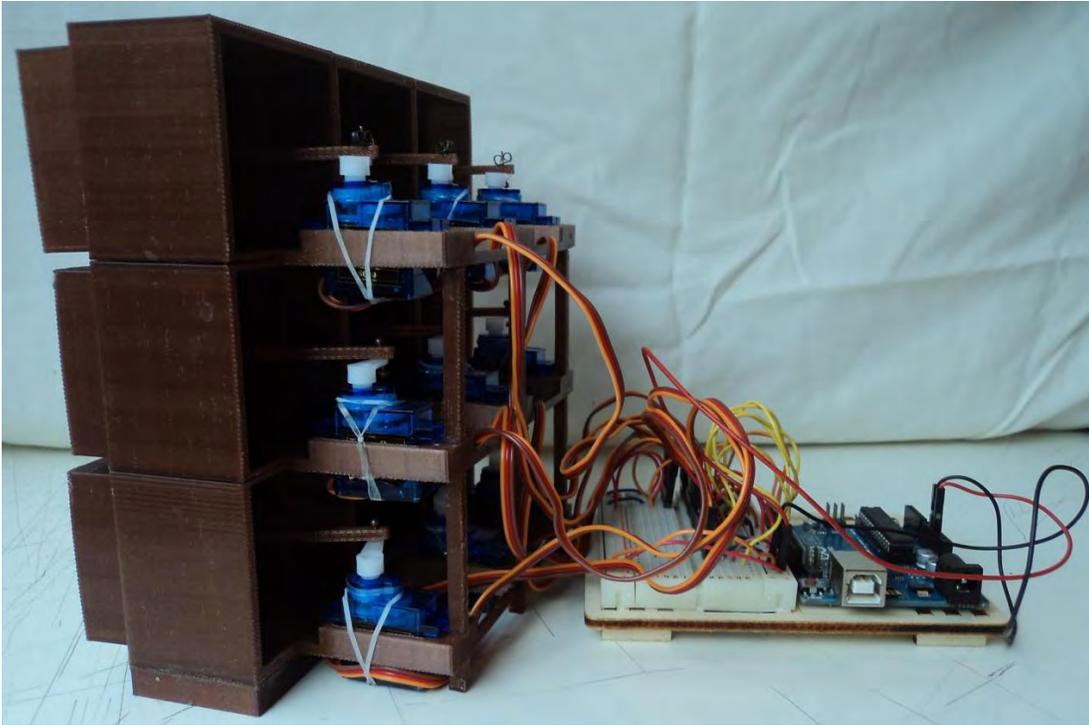


Figura 33. Prototipo.

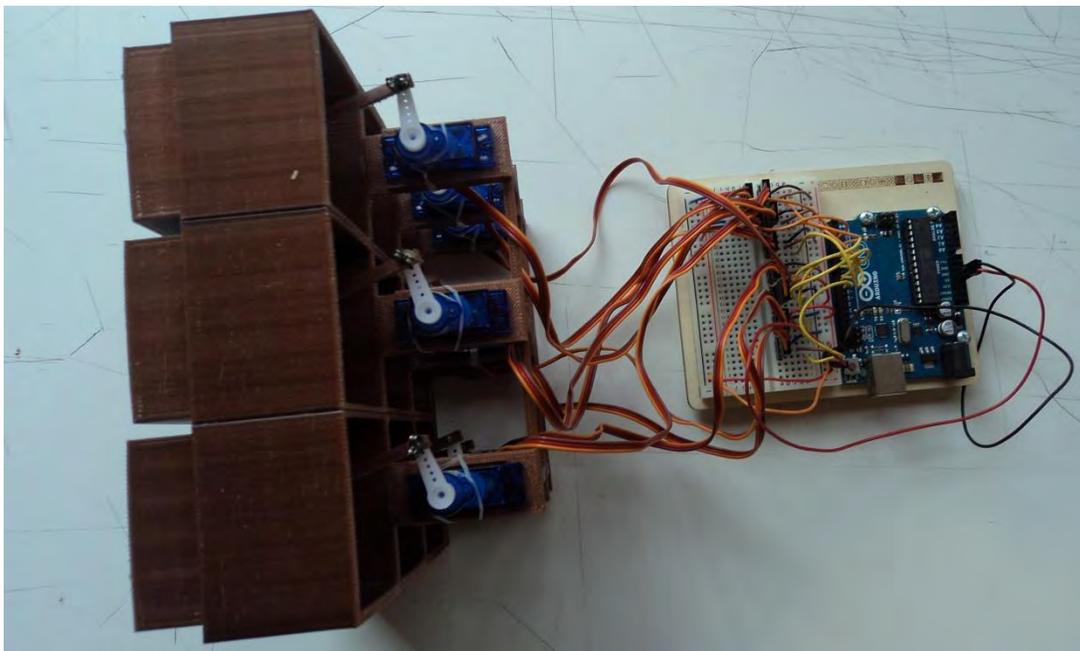


Figura 33. Prototipo.

Por otro lado, como se puede observar en el diagrama, el prototipo se diseñó con nueve elementos móviles rectangulares y una retícula ortogonal de 35 mm x 35 mm con un espesor de 10 mm que sostiene cada uno de estos elementos con su respectivo micro-servomotor. Además, para crear un mecanismo de movimiento similar al de un pistón se imprimieron en plástico otras piezas, para mover cada uno de los “píxeles”.

Una vez terminada la fabricación del prototipo, fue necesario ligar el reconocimiento de gestos al prototipo con un programa para controlar la cantidad y dirección del movimiento de los micro-servomotores con el microprocesador Arduino , Arduino IDE y Processing. Posteriormente, se imprimieron las piezas del mecanismo del prototipo en impresión 3D, se ensamblaron y se montaron los micro-servomotores. Ya con el prototipo finalizado, se comenzaron las pruebas de la propuesta.

Para realizar las pruebas, lo primero que se hizo fue determinar el lugar en el que se haría el experimento, por lo que se llevó a cabo en el interior de un cuarto de 4.00m x 5.00m y se colocó el sensor kinect a una altura de 1.00 m. Sin embargo, al ubicar al usuario existen variables que afectan su posición en relación al sensor y viceversa. Este aspecto, está determinado por las características del sensor Kinect. Por lo que el sujeto se ubicó a 2.0m del sensor, ya que el rango para que las mediciones sean correctas va de los 0.60m a los 3.90 m. También, fue necesaria la visión completa del cuerpo para obtener mediciones certeras y evitar que cualquier objeto u elemento pueda obstruir la emisión del sensor. Adicionalmente, para capturar datos con el sensor infrarrojo se tomó en cuenta que el rango de profundidad y de detección del esqueleto va de .40 m a 4.00 m (ver figura 4.2.6), en el cual los valores que se obtienen son correctos. Esta cualidad es importante mencionarla, ya que si el sujeto no se mantiene dentro de ese rango, no sería posible capturar los movimientos del sujeto o los valores obtenidos por el sensor de profundidad se capturarían de manera errónea. Asimismo, otro factor a tomar en cuenta es que el sensor debe estar nivelado.

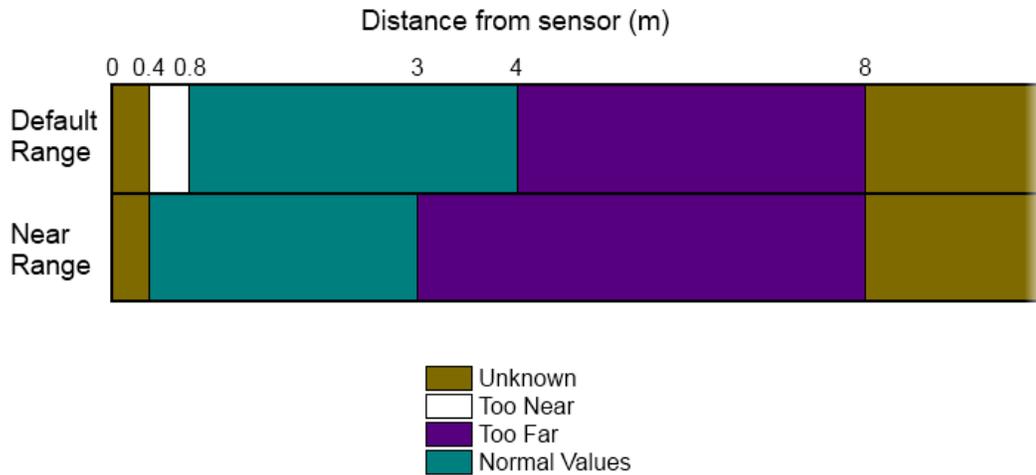


Figura 29. Rango de valores normales según distancia del usuario con el sensor Kinect. Recuperado de:
Fuente: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855355.aspx>

También, la posición del sensor en relación al usuario para el desarrollo del experimento, está determinada por el rango del ángulo de visión del sensor del espacio de forma vertical y horizontal, el eje vertical es tiene una apertura de 43 grados, en cambio en el eje horizontal tiene +27 grados o -27 grados (ver figura 4.2.7 y 4.2.8). Es por esto, que dadas las características y objetivos del prototipo se tomó la decisión de ubicar el sensor a una altura de 1.00m, para que capture fácilmente el cuerpo completo del sujeto y asegurar un rápido reconocimiento de las extremidades por parte de OpenNI. Habrá que decir también, que no puede haber mucha luz, ya que los objetos o vestuario con un reflejo muy brillante, no serían correctamente detectados.

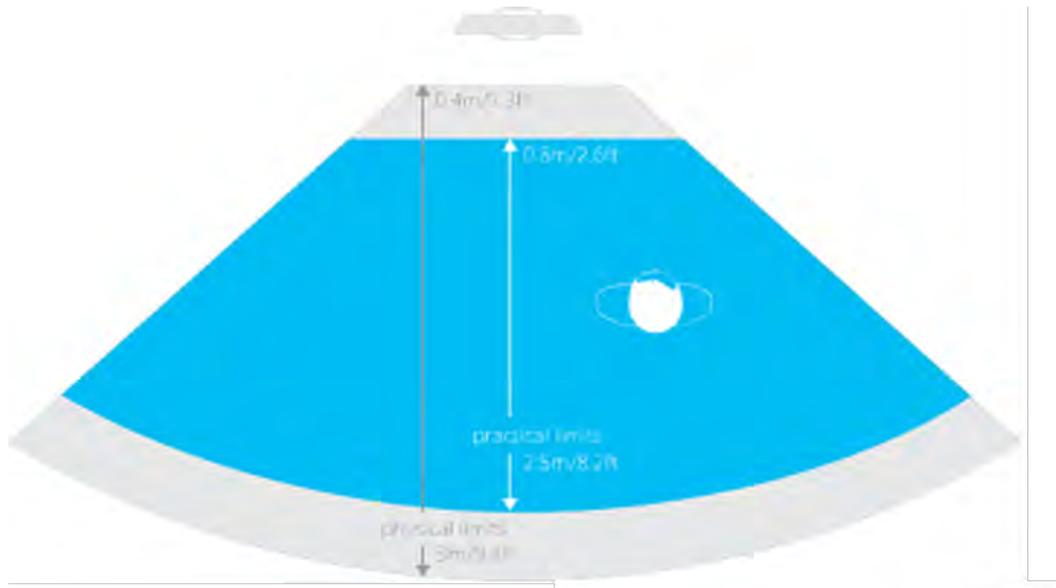


Figura 30. Rango de grados horizontales del sensor Kinect. Recuperado de: Fuente: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855355.aspx>

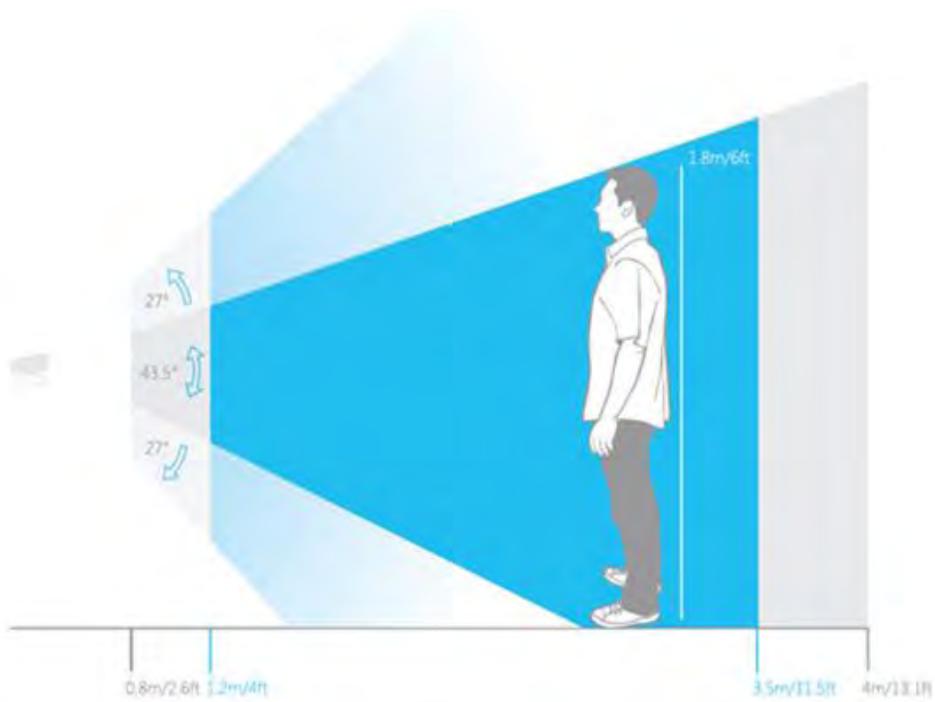


Figura 30. Rango de grados verticales del sensor Kinect. Recuperado de: Fuente: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh855355.aspx>

Por otro lado, es importante señalar que si quisiéramos abarcar un rango mayor a la capacidad del Kinect para comodidad de los usuarios, tendría que contar con la cantidad suficiente de sensores según el tamaño del lugar. Sin embargo, para la prueba se usó únicamente un sensor Kinect. Así, con las características descritas con anterioridad se preparó el lugar para las pruebas(ver imagen x).



Figura 31. Imágenes del espacio experimental para generar el sistema para el reconocimiento de gestos.

En relación a la cantidad de personas que se necesitaría identificar por parte del sistema en un ambiente real, estaría determinada por las dimensiones del espacio, la cantidad, posición de las personas que se encuentren en el lugar y tipo de elementos cambiantes. De modo que, la tarea del sistema sería excluir a muchos de los usuarios para evitar que dos o más personas quieran influir en una misma sección y tendría que seleccionar sólo a uno. No obstante, para el experimento se emplearon 2 personas, ya que esta cantidad de sujetos fue suficiente para corroborar el funcionamiento del sistema interactivo.

Resultados y Conclusiones:

Ya con el sistema listo, se iniciaron las pruebas. Primero, se le solicitó a los sujetos colocarse en la posición correcta frente al sensor Kinect y realizar 20 veces cada uno de los 4 gestos seleccionados con anterioridad(ver imagen).

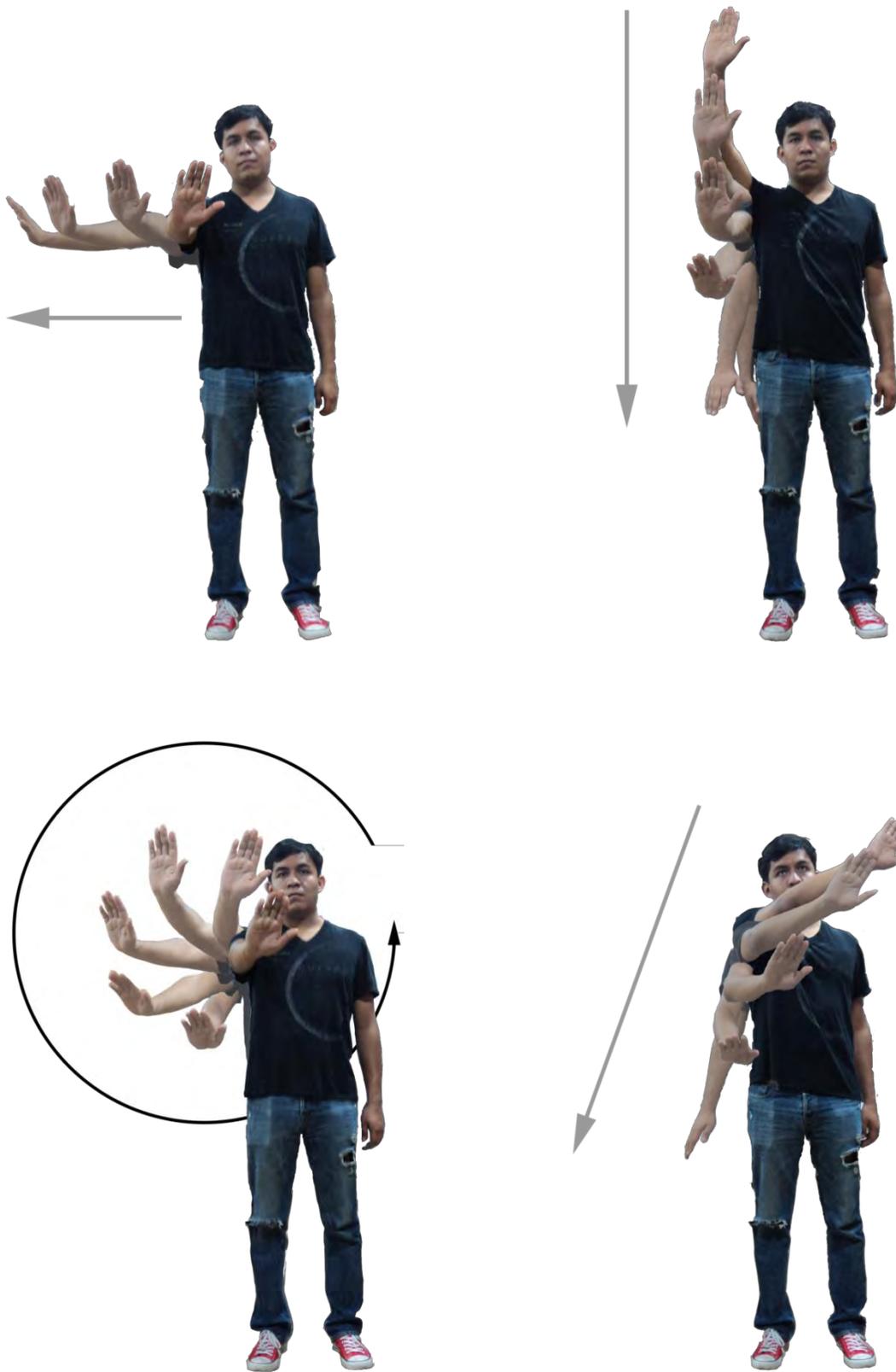


Figura 32. Ejecución de los gestos.

Una vez finalizada la captura se visualizaron los gestos. En la figura x se muestran la captura de los cuatro gestos. En las imágenes se muestra un patrón aislado y el conjunto de 20 patrones capturados de cada gesto. Observamos los gestos en el siguiente orden: verticales, horizontales, diagonales, circulares. En las imágenes se puede notar que el color de las trayectorias refiere a la parte del brazo que se capturó. Así, el color azul corresponden al movimiento de la mano, el color rojo al del codo y el negro al hombro. Cabe señalar que las unidades están en mm.

En las gráficas podemos observar que la trayectoria de la mano al realizar el gesto fue la más larga, el codo fue un menor y el hombro casi no se desplazó. En consecuencia, se tomó la decisión de capturar sólo la mano debido a que tiene mayor significancia. De manera similar, si observamos el desplazamiento de los gestos en el eje “x” y el “y” hubo mayores desplazamientos que en el eje “z”. Por lo cual, se eligieron los valores de “x” y “y”. Como se observa en la figura 33.

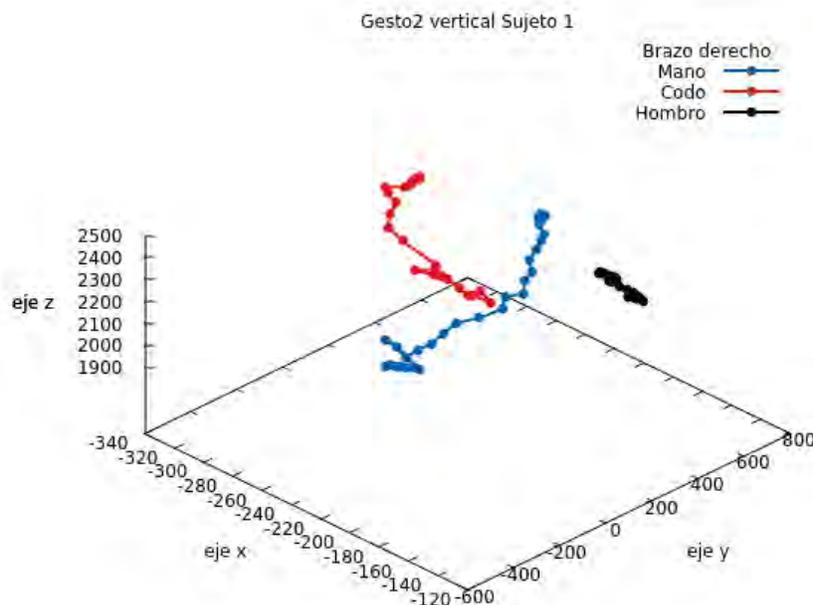


Figura 33. Gesto vertical de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto vertical.

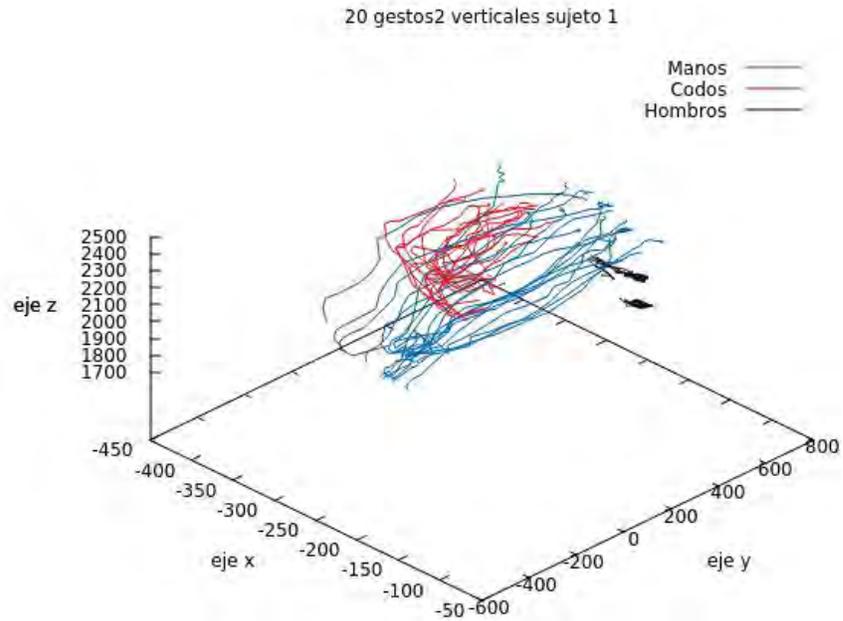


Figura 34. 20 Gestos verticales de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto vertical.

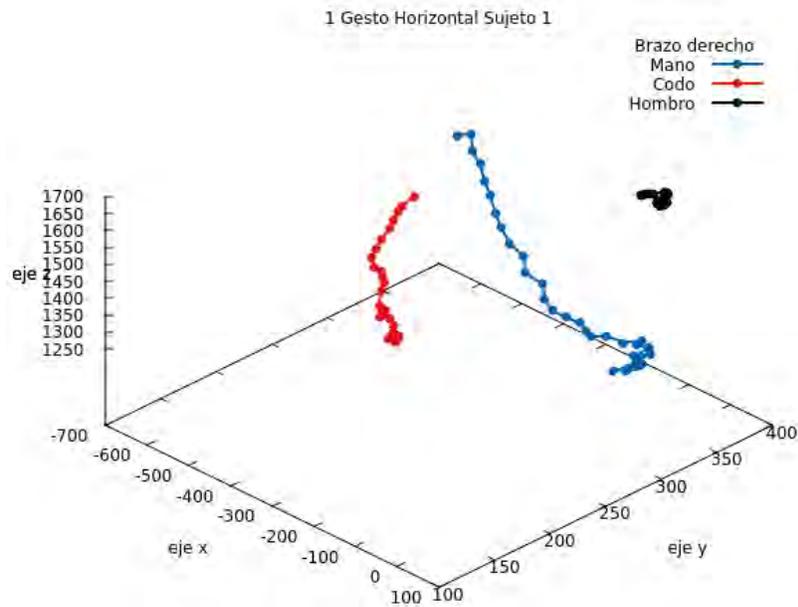


Figura 35. Gesto horizontal de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto horizontal.

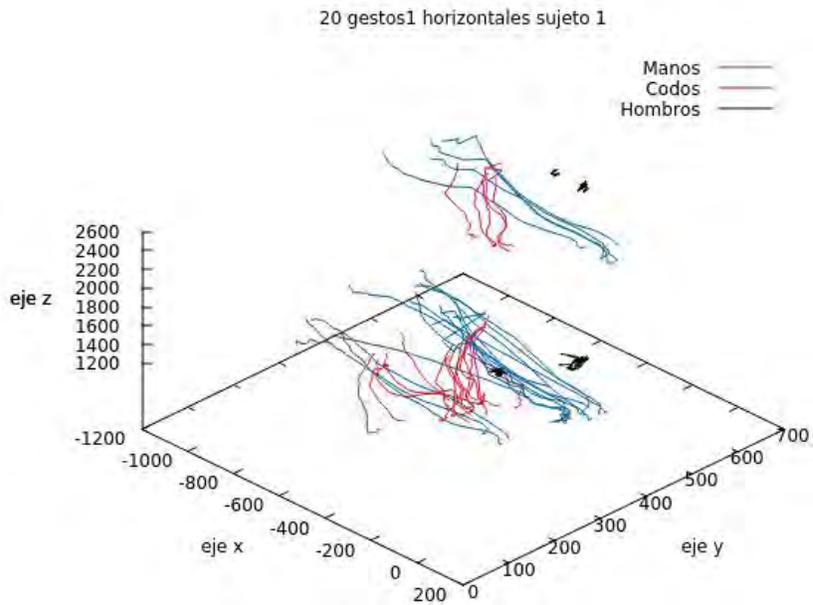


Figura 36. 20 Gestos horizontales de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto horizontal.

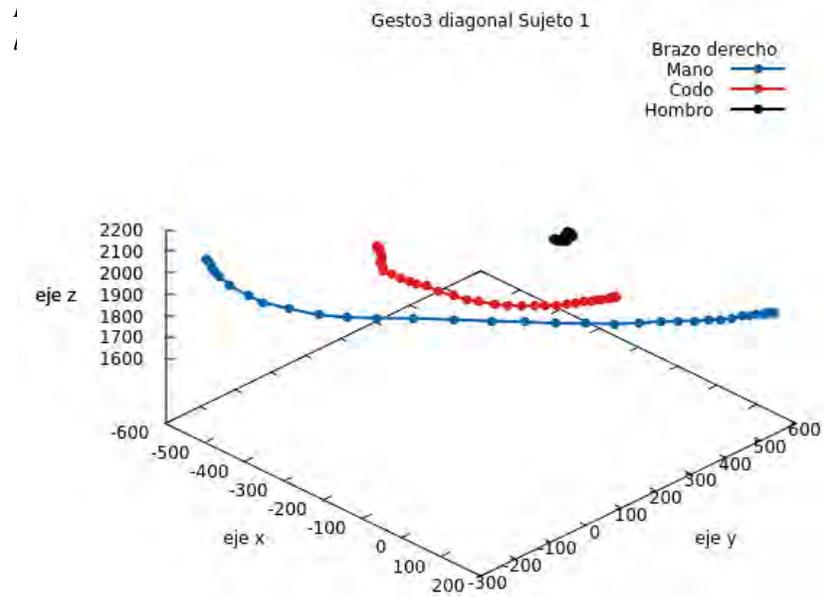


Figura 37. Gesto diagonal de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto diagonal.

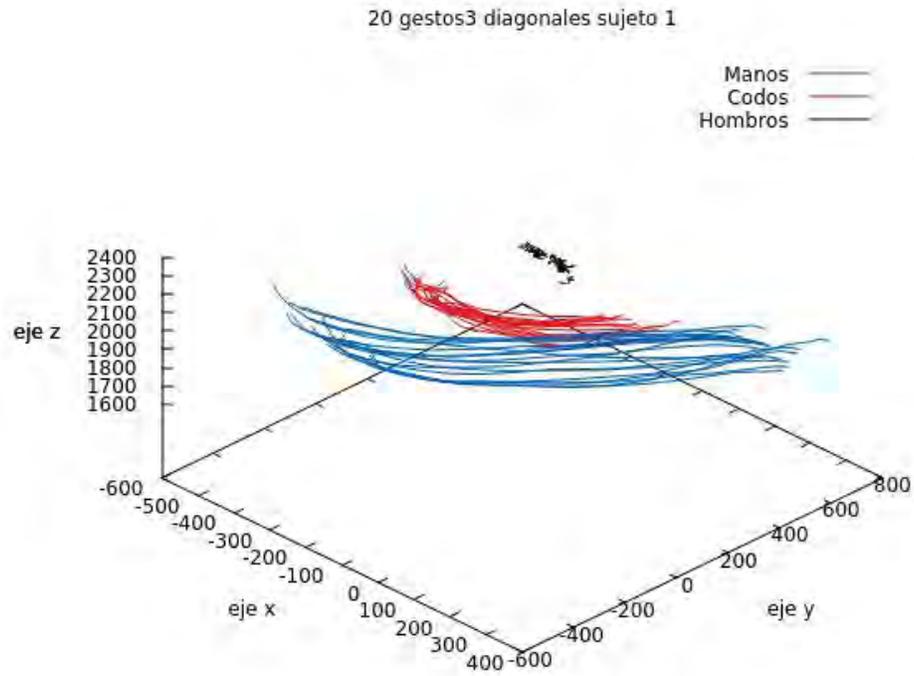


Figura 38. 20 Gestos diagonales de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto diagonal

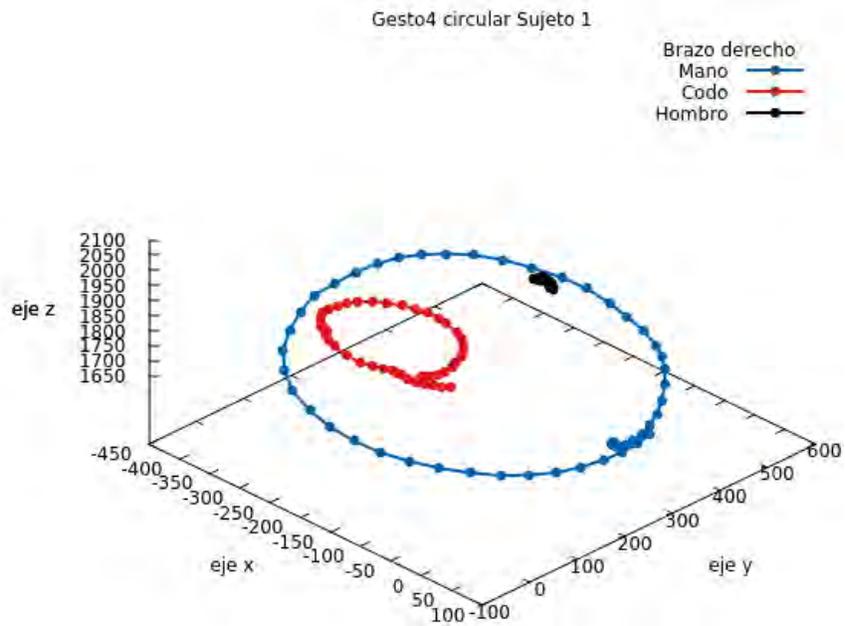


Figura 39. Gesto circular de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto circular.

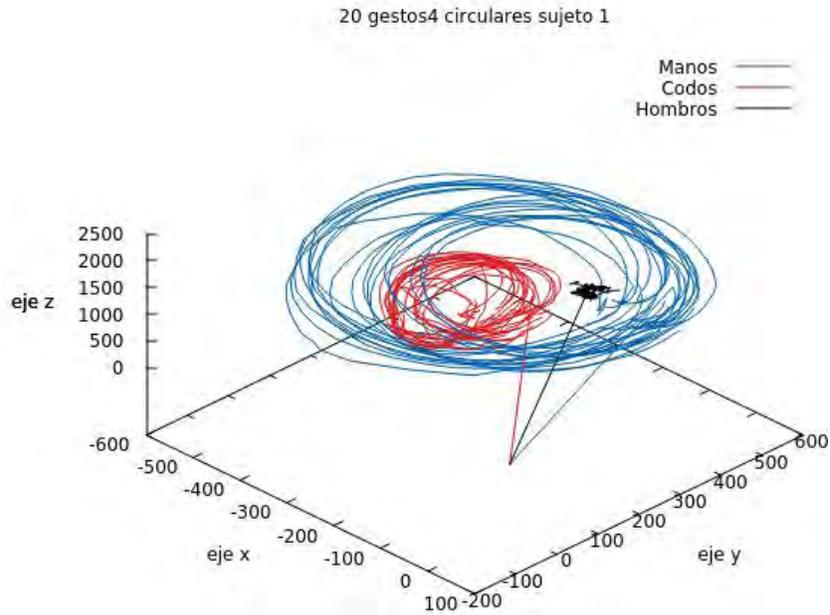


Figura 40. 20 Gestos circulares de uno de los sujetos. Se observa la posición de la mano el codo y el hombro al realizar el gesto circular.

Imágenes de los gestos “x” y “y” solo manos. Una vez definido los parámetros a utilizar para la captura de los gestos, se prosiguió con las pruebas de traslación, normalización y muestreo de los datos(figura x). Después de terminar los dos primeros pasos se continuó con el muestreo, para lo cual se tuvo que seleccionar la misma cantidad de vectores de entrada para entrenar la red. Por lo que para definirlo, primero se buscó el gesto con menor número de vectores o con menor duración de entre los veinte ejemplos que se capturaron por gesto (imagen x).

Tabla 2.

Determinación de muestreo

GESTOS	MINÍMA VECTORES
Vertical	38
Horizontal	20

Diagonal	43
Circular	51

Como se puede ver en la tabla, el gesto que tuvo la captura de menor duración o con menor cantidad de vectores fue un gesto horizontal. Por lo que, se optó por seleccionar veinte vectores de todos los gestos capturados, garantizando seleccionar el primer y el último vector capturado de cada gesto para que se mantuviera la trayectoria lo más similar posible. Debido a esto, todo aquel gesto que sea capturado en un tiempo menor, no será entrenado por la red y no será reconocido. Dicho lo anterior, se prosiguió con el entrenamiento de la red. Para lo cual se conformó con una arquitectura o topología de cuatro nodos (2x2), con cuarenta pesos cada nodo, seleccionados de manera aleatoria en un rango de valores de 0 a 1. De tal manera que, cada dos pesos fueran correspondientes a cada uno de los vectores “x” y “y” del muestreo de cada uno de los gestos. También se estructuró inicialmente con una tasa de aprendizaje con un valor de 0.05, un radio inicial de 2.0, decaimiento del radio de aprendizaje inicial de 1.0. Después, ya con la red definida, se entrenó con 15 de los 20 gestos capturados de cada uno de los 4 tipos de gestos seleccionados de manera aleatoria por 10 iteraciones. Posteriormente, se tomaron los valores resultantes de los nodos entrenados (imagen x) para continuar con las pruebas del sistema.

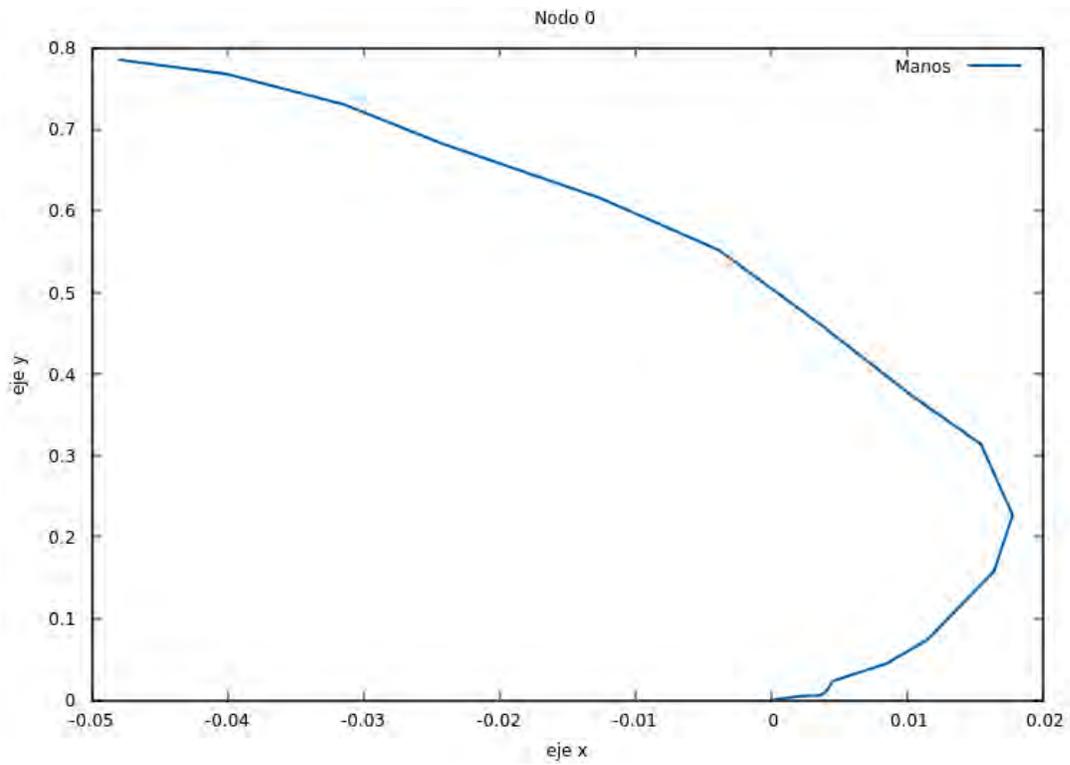


Figura 41. Valores resultantes de los pesos del nodo 0 del SOM después del entrenamiento.

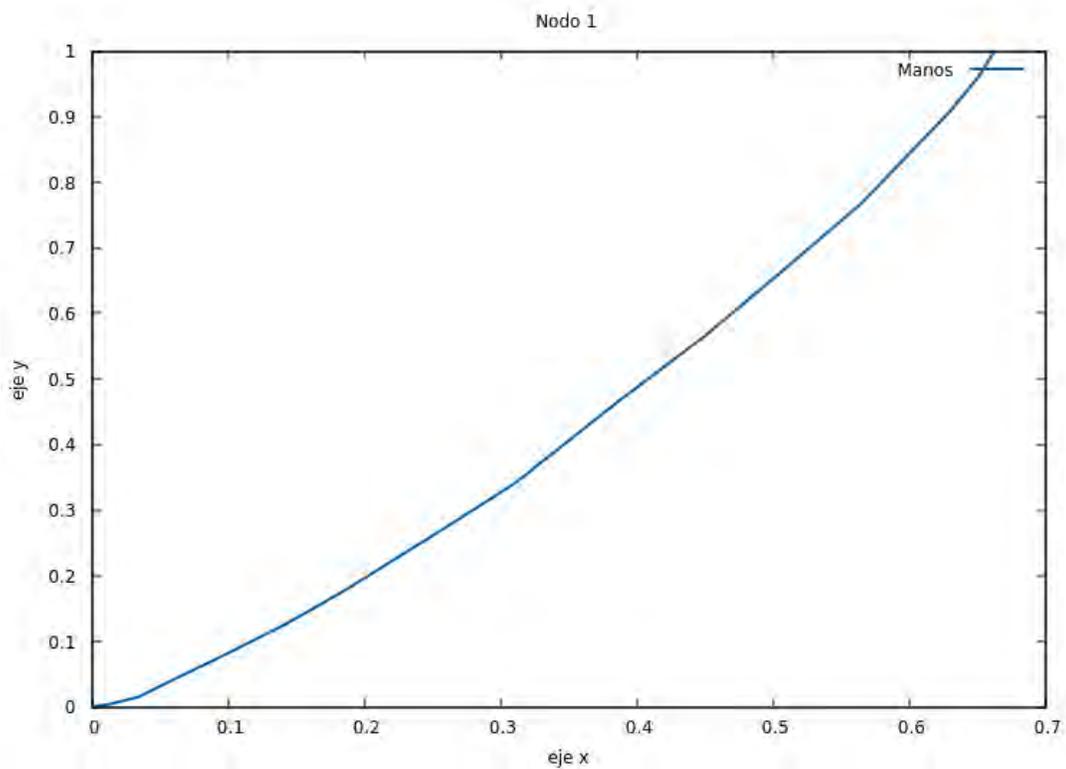


Figura 42. Valores resultantes de los pesos del nodo 1 del SOM después del entrenamiento.

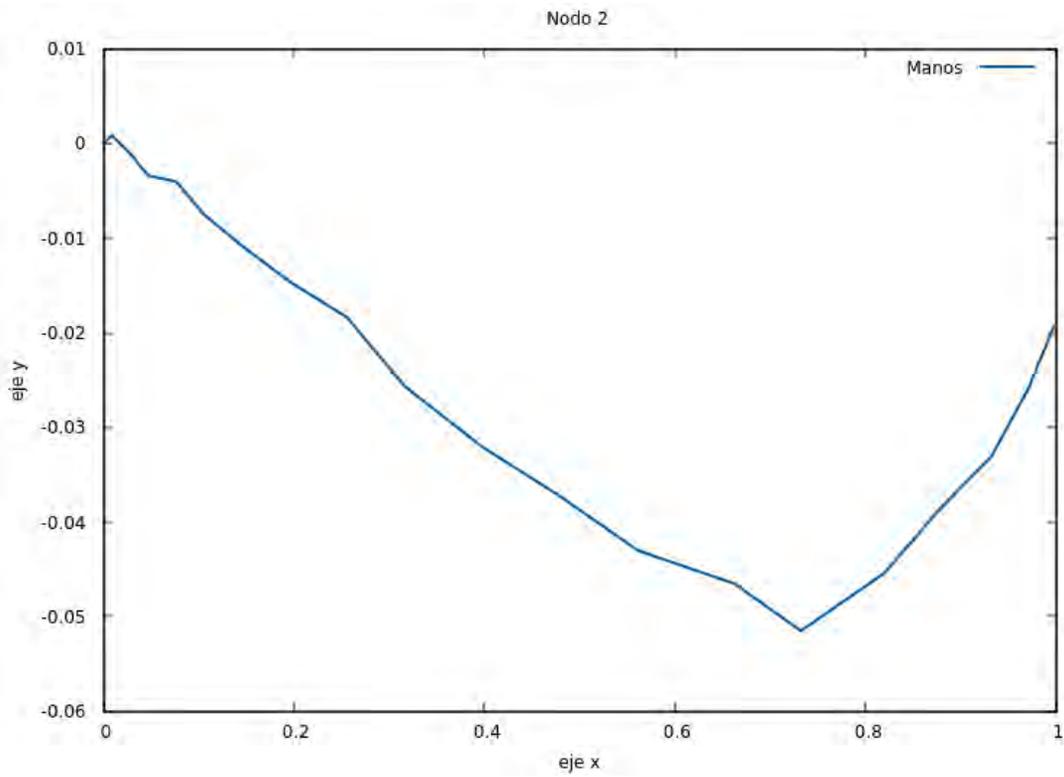


Figura 43. Valores resultantes de los pesos del nodo 2 del SOM después del entrenamiento.

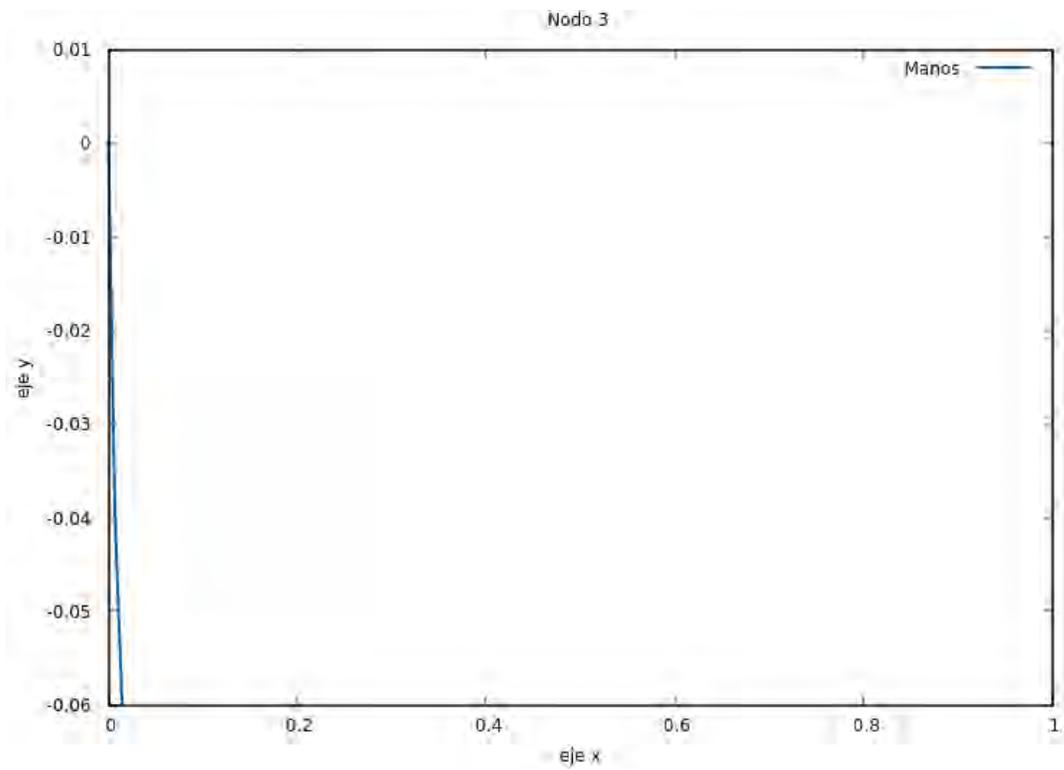


Figura 42. Valores resultantes de los pesos del nodo 3 del SOM después del entrenamiento.

Al visualizar los valores de los nodos se observa que cada nodo tomó una configuración distinta correspondiente a cada uno de los cuatros gestos con los que se entrenó el mapa autoorganizable. Para determinar a qué gesto pertenecía cada nodo, se usaron los 5 gestos restantes de los 20 gestos capturados de cada tipo y se compararon con los valores de los nodos para obtener que nodo fue el más cercano a cada gesto (Tabla x). Podemos notar que los gestos verticales se parecieron más al nodo 3, los gestos horizontales al nodo 2, los gestos diagonales al nodo 1 y los gestos circulares al nodo 0. Esto señaló la red está reconociendo los patrones de entrada, ya que cada uno de los cinco patrones capturados de cada tipo de gesto se parecen más a un nodo diferente.

Tabla 3.

Pruebas de reconocimiento de gestos

Gestos	Nodo 0	Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3
Vertical 1				x
Vertical 2				x
Vertical 3				x
Vertical 4				x
Vertical 5				x
Horizontal 1			x	
Horizontal 2			x	
Horizontal 3			x	
Horizontal 4			x	
Horizontal 5			x	
Diagonal 1		X		
Diagonal 2		X		

Diagonal 3		X		
Diagonal 4		X		
Diagonal 5		X		
Circular 1	x			
Circular 2	x			
Circular 3	x			
Circular 4	x			
Circular 5	x			

Después de identificar a que nodo correspondía cada gesto, se iniciaron las pruebas de reconocimiento en línea con el prototipo. Por lo que se le solicitó a un sujeto distinto al que ejecutó los gestos que se capturaron para entrenar la red, ejecutar 5 veces cada gesto para probar si son reconocidos por el mapa autoorganizable y si cada gesto genera el cambio de forma referido al prototipo.

De la tabla x a la x se pueden observar las 5 pruebas realizadas con cada gesto, con los valores de las distancias del gesto capturado a cada uno de los nodos entrenados. Así, se puede advertir que las distancias más pequeñas en las 5 pruebas realizadas con cada gesto fueron en el nodo correspondiente. En relación al prototipo, se puede observar que al ejecutar los gestos, en todas las pruebas se modificó el prototipo a la forma correspondiente al gesto (Tabla x).

Tabla 4.

Pruebas de reconocimiento de gestos verticales

Gesto vertical						
Referencia	Nodos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5

Vertical	0	2.71	2.56	4.33	4.06	4.94
Diagonal	1	6.16	6.11	7.21	7.17	7.7
Horizontal	2	12.7	12.52	14.03	13.94	14.61
Circular	3	10.54	10.5	11.49	11.68	12.17

Tabla 5.

Pruebas de reconocimiento de gestos diagonales

Gesto Diagonal						
Referencia	Nodos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Vertical	0	10.64	10.22	9.09	11.52	8.62
Diagonal	1	5.24	4.5	3.65	5.87	3.43
Horizontal	2	9.44	9.7	9.43	10.81	10.74
Circular	3	10.51	10.57	10.92	11.06	10.54

Tabla 6.

Pruebas de reconocimiento de gestos horizontales

Gesto Horizontal						
Referencia	Nodos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Vertical	0	11.94	10.7	12.62	13.21	13.25
Diagonal	1	8.94	8.32	9.54	10.56	10.85
Horizontal	2	2.19	0.71	2.57	2.82	3.55
Circular	3	11.12	11.68	11.08	11.52	10.6

Tabla 7.

Pruebas de reconocimiento de gestos circulares

Gesto Circular						
Referencia	Nodos	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Vertical	0	12.01	11.68	11.93	11.81	12.45
Diagonal	1	11.97	12.69	11.84	11.78	12.69
Horizontal	2	10.62	11.49	10.62	10.21	10.57
Circular	3	5.57	6.16	4.8	4.33	5.7

Tabla 8.

Pruebas de tipo de cambio formal del prototipo según cada gesto

Cambio formal del prototipo						
Gesto	C. Formal	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Vertical	A	X	X	X	X	X
Diagonal	B	X	X	X	X	X
Horizontal	C	X	X	X	X	X
Circular	D	X	X	X	X	X



Figura 43. Configuraciones del prototipo según cada gesto. Posiciones vertical, horizontal diagonal y circular

En la Figura 43 se puede observar los distintos cambios de forma del prototipo correspondientes a los gestos realizados. En la parte superior izquierda, se puede observar el cambio generado con el gesto vertical, en la parte superior derecha se puede observar

En este trabajo se presentó un sistema de aprendizaje de un conjunto de secuencias de movimientos capturadas con el sensor Kinect y basados en un mapa autoorganizable que provee de un cambio morfológico al prototipo. La evaluación de los gestos de control de los

experimentos mostró un alto desempeño del sistema. El sistema fue capaz de identificar un conjunto de secuencias aprendidas y a partir de ellas generar un cambio en la morfología del prototipo. La investigación presentada en este artículo introduce un sistema para adaptarse al usuario por medio de sus *affordances* para manipular un espacio reconfigurable, se propuso un método efectivo para la interacción entre el usuario y el prototipo usando vectores de las posiciones de las articulaciones capturado por medio de la cámara de profundidad del kinect. Se entrenó y probó la actividad de reconocimiento del sistema usando un mapa autoorganizable y se logró una tasa de reconocimiento y cambio de morfología por parte del prototipo del 100% con los gestos propuestos. Además, el método propuesto tiene aplicaciones para ambientes interactivos adaptables, y espacios multifuncionales. Como oficinas, comercios, viviendas, espacios públicos, etc. En el futuro se espera agregar al sistema gestos adicionales y probar distintos prototipos para aumentar la multiplicidad de *affordances* del sistema.

En conclusión, el sistema cinético interactivo posibilita el cambio de morfología del prototipo haciendo partícipe a los usuarios por medio de gestos, para articular una relación entre las personas y el espacio arquitectónico. También, permite que el usuario influya directamente en el cambio de forma de una edificación en el momento que este lo desee y proporciona un medio participativo en el cual el usuario puede tomar decisiones para modificar formalmente un componente espacial según distintas posibilidades. El sistema puede ser usado por distintas personas y por medio de los gestos de cada uno, se puede modificar el prototipo reflejando la capacidad de modelar el espacio generando distintos usos. Además, el sistema puede ser un medio para generar espacios indeterminados que modifiquen la idea del uso de un programa arquitectónico. Asimismo, el sistema aumenta los *affordances* por medio de la interacción por medio de los gestos, ya que debido a la certeza en el reconocimiento de los gestos propuestos es posible modificar el prototipo. Dicho lo anterior, los gestos se reflejan en la modificación de la forma del prototipo generando un lenguaje geométrico distinto con cada persona y evita el uso de accesorios para el reconocimiento gestos.

Finalmente, fue posible generar un sistema cinético interactivo para reconocer los gestos del usuario en tiempo real en diferentes lugares con un prototipo flexible al implementar un prototipo que refleja un componente del espacio arquitectónico que cambie de forma y reconozca los gestos del usuario en tiempo real proporciona un medio para que el usuario participe en la modificación formal de un aspecto de una edificación para desarrollar múltiples posibilidades para adaptar el espacio a los usuarios. Para darle continuidad a la investigación en el futuro, se considera significativo implementar gestos con distintas características a las propuestas actualmente, También, se considera relevante el generar un medio para usarse con dos o más personas. El uso de otro tipo de redes neuronales con cualidades más adaptativas podrían generar resultados importantes, Además integrar un sistema responsivo al sistema propuesto también sería importante.

Referencias:

- Alhoniemi, E., Hollmén, J., Simula, O., & Vesanto, J. (1999). Process monitoring and modeling using the self-organizing map. *Integrated Computer-Aided Engineering*, 6(1), 3-14.
- Antić, D. C. (2012). *Modes of Interaction in Computational Architecture* (Tesis Doctoral).
- Arocha, M., & Pérez, T. (2010). Estado del Arte de la Domótica y la Inmótica.
- Baldwin, J. (1997). *BuckyWorks: Buckminster Fuller's ideas for today*. John Wiley & Sons.
- Ballard, J. G. (2001). The thousand dreams of Stellavista. *JG Ballard, Vermillion Sands, London: Vintage*, 185-208.
- Basheer, I. A., & Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.
- Basheer, I. A., & Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.
- Benyon, D., & Murray, D. (1993). Adaptive systems: From intelligent tutoring to autonomous agents. *Knowledge-Based Systems*, 6(4), 197-219.
- Bergson, H. (1900). *Materia y memoria: ensayo sobre la relación de cuerpo con el espíritu*. V. Suárez.
- Bier, H., & Ku, Y. (2013). Generative and Participatory Parametric Frameworks for Multi-player Design Games. *FOOTPRINT*, 7(2), 153-162.
- Bier, H. H., & Mostafavi, S. (2016). Robotic Building as Physically Built Robotic Environments and Robotically Supported Building Processes. In *Architecture and Interaction* (pp. 253-271). Springer International Publishing.
- Biloria, N. (2010); *Interactive Bodies, Forward*, Volume 110, ISSN 2153-7526, American Institute of Architects Publishers, USA, 2010, pp. 69-76
- Biswas, K. K., & Basu, S. K. (2011, December). Gesture recognition using microsoft kinect®. In *Automation, Robotics and Applications (ICARA), 2011 5th International Conference on* (pp. 100-103). IEEE.

- Bolbroe, C. (2016). Mapping the Intangible: On Adaptivity and Relational Prototyping in Architectural Design. In *Architecture and Interaction* (pp. 205-229). Springer International Publishing.
- Bouzanjani, B. F. Alloplastic Architecture the design of an interactive.
- Brand S (1997) How buildings learn: what happens after they're built. Weidenfeld Nicolson Illustrated, London
- Brodey, W. M., & Lindgren, N. (1967). Soft architecture: the design of intelligent environments. *Landscape*, 17(1), 8-12.
- Caridakis, G., Karpouzis, K., Pateritsas, C., Drosopoulos, A., Stafylopatis, A., & Kollias, S. (2008, June). Hand trajectory based gesture recognition using self-organizing feature maps and Markov models. In *2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 1105-1108). IEEE.
- Calvo, P., & Gomila, T. (Eds.). (2008). *Handbook of cognitive science: An embodied approach*. Elsevier.
- Casey, E. S. (2000). Remembering: A Phenomenological Study.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *analysis*, 58(1), 7-19.
- Cook, P. (1999). *Archigram*. Princeton Architectural Press.
- Debord, G. (2006). Report on the Construction of Situations. *Ken Knabb, trans. In Knabb, ed.*
- Decoi Architects (2011). *Hyposurface*, Recuperado de <http://www.hyposurface.org/>
- Di Paolo, E. A., Rohde, M., & De Jaegher, H. (2010). Horizons for the enactive mind: Values, social interaction, and play. *Enaction: Towards a new paradigm for cognitive science*, 33-87.
- Eastman, C. M. (1972). *Adaptive conditional architecture*. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University.
- El-Bakry, H. M., Riad, A. M., Abu-Elvoud, M., Mohamed, S., Hassan, A. E., Kandel, M. S., & Mastorakis, N. (2010). Adaptive user interface for web applications. In *Recent Advances in Business Administration: Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Business Administration (ICBA'10)*(pp. 20-22).
- Fox, M., & Kemp, M. (2009). *Interactive architecture* (Vol. 1). New York: Princeton Architectural Press.

- Frazer, J. H. (1993). The architectural relevance of cybernetics. *Systems research*, 10(3), 43-48.
- Frazer, J. (1995). An evolutionary architecture.
- Friedman, Y. (2016). Recuperado de http://www.yonafriedman.nl/?page_id=225
- Gallagher S (2012). Phenomenology. Palgrave Macmillan, London
- Gallagher, S., & Bower, M. (2014). Making enactivism even more embodied. *AVANT. Pismo Awangardy Filozoficzno-Naukowej*, (2), 232-247.
- Gershenson, C. (2003). Artificial neural networks for beginners. *arXiv preprint cs/0308031*. Gibson, J. J. (2014). The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition. Psychology Press.
- Goldman, J. A. (1979). Towards a systems biology of the built environment. *Energy and Buildings*, 2(4), 309-321.
- Govindaraju, R. S. (2000a). Artificial neural networks in hydrology. I: Preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 115-123.
- Govindaraju, R. (2000b). Artificial neural networks in hydrology: ii, hydrologic applications.
- Gropius, W. (1954, Febrero). Eight steps toward a solid architecture. In *Architectural Forum* (Vol. 100, No. 2, pp. 156-57).
- Gutiérrez, E. M. (1990). El movimiento Metabolista: Kisho Kurokawa y la arquitectura de las cápsulas. *Boletín académico*, (12), 15-21.
- Hamilton Frazer, J. (2001). The cybernetics of architecture: a tribute to the contribution of Gordon Pask. *Kybernetes*, 30(5/6), 641-651.
- Haque, U. (2006). Architecture, interaction, systems. *AU: Arquitectura & Urbanismo*, 147, 68-71.
- Harding, J., & Derix, C. (2011). Associative Spatial Networks in Architectural Design: Artificial Cognition of Space using Neural Networks with Spectral Graph Theory. In *Design Computing and Cognition'10* (pp. 305-323). Springer Netherlands.
- Harvey, O. J. (1966). Ends, means, and adaptability. In *Experience Structure & Adaptability* (pp. 3-12). Springer Berlin Heidelberg.
- Heylighen, F. (2001). The science of self-organization and adaptivity. *The encyclopedia of life support systems*, 5(3), 253-280.

- Hughes, J., & Sadler, S. (Eds.). (2013). *Non-plan: essays on freedom, participation and change in modern architecture and urbanism*. Routledge.
- Ivain, G. (1958). Formulary for a new urbanism. *Ken Knabb (trans.), Internationale Situationniste*, (1).
- Jacobs M, Findley J (2015) Breathe. sonicribbon.com. Recuperado de: <http://www.sonicribbon.com/sonicribbon/breathe/>. Accesado el
- Jäger, N., Schnädelbach, H., & Hale, J. (2016). Embodied Interactions with Adaptive Architecture. In *Architecture and Interaction* (pp. 183-202). Springer International Publishing.
- Jain, A. K., Mao, J., & Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, 29(3), 31-44.
- Jalal, A., Kim, Y., Kamal, S., Farooq, A., & Kim, D. (2015, June). Human daily activity recognition with joints plus body features representation using Kinect sensor. In *Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), 2015 International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Jameson, A. (2001). *Systems That Adapt to Their Users: An Integrative Perspective*. Saarbrücken: Saarland University.
- Jaskiewicz, T. (2013). *Towards a methodology for complex adaptive interactive architecture*. TU Delft, Delft University of Technology.
- Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's new media: principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.
- Kalteh, Aman Mohammad, Peder Hjorth, and Ronny Berndtsson. "Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: Analysis, modelling and application." *Environmental Modelling & Software* 23.7 (2008): 835-845.
- Knabb, K. (2006). Situationist International Anthology, ed. *Ken Knabb(Canada: Bureau of Public Secrets)*.
- Kohonen, T. (1982a). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*, 43(1), 59-69.
- Kohonen, T. (1982b). Analysis of a simple self-organizing process. *Biological cybernetics*, 44(2), 135-140.

- Kohonen, T. (1991). *Self-Organizing Maps: Optimization Approaches In: Artificial Neural Networks*, T. Elsevier Science (North-Holland).
- Kohonen, T. (2001). *Self-organizing maps*, vol. 30 of Springer Series in Information Sciences. ed: Springer Berlin.
- Kolarevic, B. (2009). Exploring Architecture of Change. *Proceedings of the ACADIA*, eds. TD Sterk, R. Loveridge and D. Pancoast, 58-61.
- Krikke, J. (2005). T-Engine: Japan's ubiquitous computing architecture is ready for prime time. *Pervasive Computing, IEEE*, 4(2), 4-9.
- Kronenburg, R. (2007). *Flexible. Architecture that Responds to Change. Londres.*
- Kröse, B., Krose, B., van der Smagt, P., & Smagt, P. (1993). An introduction to neural networks.
- Kurokawa, K. (1969). Capsule declaration. *Space Design*, 75-8.
- Langley, P., Derix, C. and Coates, P.S. 2007 'MetaCognitive Mappings: Growing Neural Networks for Generative Urbanism', Proceedings of th 10th Generative Art Conference 2007
- Mathews, S. (2006). The Fun Palace as virtual architecture: Cedric Price and the practices of indeterminacy. *Journal of Architectural Education*, 59(3), 39-48.
- McLuhan, M. (1964). *Understanding media: The extensions of man* (Critical Ed., WT Gordon, Ed.). *Original work published in 1964.*
- Merleau-Ponty, M. (1964). *The primacy of perception: And other essays on phenomenological psychology, the philosophy of art, history, and politics.* Northwestern University Press.
- Mitra, S., & Acharya, T. (2007). Gesture recognition: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 37(3), 311-324.
- Mozer, M. C. (1998). The neural network house: An environment that adapts to its inhabitants. In *Proc. AAAI Spring Symp. Intelligent Environments* (pp. 110-114).
- Moradi, F., & Wiberg, M. (2016). Getting It Going: Explorations at the Intersection of Moving Bodies, Information Technology and Architecture. In *Architecture and Interaction* (pp. 113-136). Springer International Publishing.
- Negroponte, N. (1970a). *The architecture machine.* MIT press.
- Negroponte, N. (1970b). *The Architectural Machine: Toward a More Human Environment.*

- Negroponte, N. (1975). *Soft architecture machines* (pp. 353-366). Cambridge, MA: MIT press.
- Nieuwenhuys, C. (1959). Another city for another life. *Situationist International*,3.
- Nieuwenhuys, C. (1974). New Babylon. *Constant: New Babylon*, 154.
- Oosterhuis, K. (2003). *Hyperbodies*. Springer Science & Business Media.
- Oosterhuis, K., Xia, X., & Sam, E. J. (2007). *Interactive Architecture* (No.1). Episode publishers.
- Oppermann, R. (1994). Adaptively supported adaptability. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40(3), 455-472.
- Pallasmaa, J. P. (2006). *La metáfora vivida: en cuatro casas de Pezo Von Ellrichshausen* (No. 159.93: 72). Gustavo Gili,.
- Pallasmaa, J. (2012). *The eyes of the skin: architecture and the senses*. John Wiley & Sons.
- Pask, G. (1971). A comment, a case history and a plan. *Cybernetics, art and ideas*, 76-99.
- Pask, G. (1976). *Conversation theory: Applications in education and epistemology*. Elsevier Publishing Company.
- Pernice, R. (2004). Metabolism Reconsidered Its Role in the Architectural Context of the World. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*,3(2), 357-363.
- Plant, S. (2002). *The most radical gesture: The Situationist International in a postmodern age*. Routledge.
- Petrovic, I., & Svetel, I. (1999). From Number Cruncher to Digital Being: The changing role of computer in CAAD.
- Rafaeli, S. (1988). Interactivity: From new media to communication. *Sage annual review of communication research: Advancing communication science*,16(CA), 110-134.
- Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012, Mayo). Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 735-744). ACM.
- Rosenblueth, A., Wiener, N., & Bigelow, J. (1943). Behavior, purpose and teleology. *Philosophy of science*, 10(1), 18-24.

- Rothe, K. (2012). Economy of human movement: performances of economic knowledge. *Performance Research*, 17(6), 32-39.
- Rowlands, M. (2009). Enactivism and the extended mind. *Topoi*, 28(1), 53-62.
- Ruiz, E. (2010). *Media-Tic* Recuperado de <http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Media-Tic>
- Sadler, S. (2005). *Archigram: architecture without architecture*. Mit Press.
- Sant'Elia, A. (1914). *Manifiesto dell'architettura futurista*.
- Schalkoff, R. J. (1997). *Artificial neural networks*. McGraw-Hill Higher Education.
- Scott, W. A. (1966). Flexibility, rigidity, and adaptation: Toward clarification of concepts. In *Experience structure & adaptability* (pp. 369-400). Springer Berlin Heidelberg.
- Schnädelbach, H. Adaptive Architecture—A Conceptual Framework. *Interaction of Architecture, Media and Social Phenomena*, 523.
- Steiner, H. A. (2013). *Beyond Archigram: the structure of circulation*. Routledge.
- Sterk, T. D. (2003). Using actuated tensegrity structures to produce a responsive architecture. In *ACADIA22 Conference 2003 Proceedings*. acadia.
- Stoffregen, T. A., & Mantel, B. (2015). Exploratory movement and affordances in design. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 29(03), 257-265.
- Torres Al Bahr (2014). Recuperado de http://es.wikiarquitectura.com/index.php/Torres_Al_Bahr
- Van Vliissingen, H.F (s.f). Yona Friedman, Consultado en Abril, 26, 2016. Recuperado de <http://www.yonafriedman.nl/>
- Norbert, W. (1954). *The Human Use of Human Beings*. Houghton Mifflin Company, New York.
- Wigley, M. (1998). *Constant's New Babylon: the hyper-architecture of desire*. 010 Publishers.
- Vardouli, T. Octubre 27 del 2011. Nicholas Negroponte: an interview. Open architectures. Recuperado de <https://openarchitectures.com/2011/10/27/an-interview-with-nicholas-negroponte/>
- Velikov, K., & Thün, G. (2013). Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. *Design and Construction of High-Performance Homes*, 75-92.

- Vera, A. H., & Simon, H. A. (1993). Situated action: A symbolic interpretation. *Cognitive science*, 17(1), 7-48.
- Vesanto, J. (1999). SOM-based data visualization methods. *Intelligent data analysis*, 3(2), 111-126.
- Vesanto, J., & Alhoniemi, E. (2000). Clustering of the self-organizing map. *IEEE transactions on neural networks*, 11(3), 586-600.
- Zuk W, Clarke R (1970) Kinetic architecture. Van Nostrand Reinhold, New York

Falta agregar:

<http://www.arduino.cc/es/>

Microsoft

Makerbot

MakerBot(2016). Recuperado de

https://eu.makerbot.com/fileadmin/Inhalte/Support/Manuals/MakerBot_Replicator2_UserManual_Eng.pdf

Processing

Reas, C., & Fry, B. (2007). Processing: a programming handbook for visual designers and artists (Vol. 6812). Mit Press.

Referencias Gráficas

Antonio Sant 'Elia (1916). *La Casa a Gradinata* [Dibujo]. En Da Costa ,Meyer, E. *The work of Sant 'Elia: retreat into the future*. (p. 105). EEUU. Yale University Press.1995.

Buckminster Fuller(s.f.). *Casa Dymaxion* [Dibujo]. Recuperado el 2 de Enero del 2016 de <http://www.archdaily.mx/mx/02-288162/clasicos-de-arquitectura-la-casa-dymaxion-buckminster-fuller>

Yona Friedman (1958-1962). *Ville Spatiale* [Dibujo]. Recuperado el 18 de Enero del 2016 de <http://www.yonafriedman.nl/>

Yona Friedman(1949). *Moving Boxes* [Dibujo]. Recuperado el 26 de Enero del 2016 de <http://www.yonafriedman.nl/>

Archigram Peter Cook (1969). *Instant City* [Dibujo]. Recuperado el 03 de Febrero del 2016 de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Archigram Peter Cook (1964). *Plug-in- city* [Dibujo]. Recuperado el 08 de Febrero del 2016 de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Archigram Michael Webb (1979). *Suitaloon in four stages* [Dibujo]. Recuperado el 09 de Febrero del 2016 de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Archigram Warren Chalk, Peter Cook, Dennis Crompton, Ron Herron (1967). *Suitaloon in four stages* [Dibujo]. Recuperado el 11 de Febrero del 2016 de <http://archigram.westminster.ac.uk/>

Kisho Kurokawa (1972). *Torre Cápsula Nagakin*. [Imagen]. Recuperado el 19 de Febrero del 2016 de <http://www.mascontext.com/issues/4-living-winter-09/case-study-1-nakagin-capsule-tower/>

Constant Nieuwenhuys (1971). *New Babylon*. [Dibujo]. Recuperado el 26 de Febrero del 2016 de <http://www.archdaily.mx/mx/02-17540/constant-y-la-internacional-situacionista>

Cedric Price (1961-1965). *Fun Palace*. [Dibujo]. Recuperado el 6 de Marzo del 2016 de <http://www.cca.qc.ca/>

Cedric Price (1961-1965). *Fun Palace*. [Dibujo]. Recuperado el 6 de Marzo del 2016 de <http://www.cca.qc.ca/>

Architecture Group M.I.T.(1970). SEEK.[Imagen]. Recuperado el 11 de Marzo del 2016 de <http://www.fondation-langlois.org/>

Jaskiewicz, T. (2013). *Sub-domains of active/dynamic architecture and their common drivers*. [Dibujo]. Recuperado el 15 de Marzo del 2016 de Towards a methodology for complex adaptive interactive architecture. TU Delft, Delft University of Technology.

Rasmussen, M. K., Pedersen, E. W., Petersen, M. G., & Hornbæk, K. (2012). Tipos de cambio de forma. [Dibujo]. Recuperado el 7 de Octubre del 2015 de Shape-changing interfaces: a review of the design space and open research questions. In Proceedings

of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 735-744).
ACM.

Dibujo de los tipos de retícula del SOM

Kohonen, T., Hynninen, J., Kangas, J., & Laaksonen, J. (1996). Som pak: The self-organizing map program package. *Report A31, Helsinki University of Technology, Laboratory of Computer and Information Science.*