

La Autopoiesis de la Arquitectura como Marco Teórico para Sustentar el Uso Eficaz de la Tecnología en el Diseño de Producto

The Autopoiesis of Architecture as a Theoretical Framework to Support the Effective Use of Technology in Product Design

Mtro. Edgar Patricio Jácome-Monar*. Es Ingeniero Mecánico. Tesis de Pregrado: *Diseño por método convencional y verificación mediante elementos finitos (ALGOR®) de un elevador articulado accionado por un sistema hidráulico*. Magíster en Ingeniería Industrial, Tesis de Posgrado: *Estudio y definición del grado de factibilidad para la instalación de una planta procesadora de tapas, envases y otros artículos de plástico*. Docente de Dibujo Técnico, Modelado Digital en 3D, Procesos y Materiales de Manufactura, Análisis y Evaluación de Proyectos. Actualmente trabaja en la Escuela de Diseño Gráfico Industrial en la Universidad de Las Américas. Proyecto de Investigación en ejecución: *Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes*. Libro en producción: *Dibujo Técnico para Diseñadores Industriales*.

Mtra. María Claudia Valverde Rojas**. Es profesora universitaria en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Las Américas, en Quito, Ecuador. Su pasión es trabajar con los estudiantes para mejorar sus resultados de diseño mediante teorías, métodos y herramientas contemporáneas. Claudia cree que las mejores soluciones de diseño se pueden abordar con la conciencia de un marco teórico contemporáneo integral que se refiere a los conceptos de diseño, métodos, medios y valores. Desde 2014 algunos proyectos dirigidos por ella se han mostrado localmente y en el extranjero en congresos, ferias y concursos de diseño. Claudia tiene un BA en Arquitectura y un MDI en Diseño Industrial para Arquitectura del Politécnico de Milán.

Colaboradores:

C. Valeria Margarita León Andrade. Es estudiante de la Licenciatura de Diseño Gráfico Industrial de la Universidad de Las Américas, en Quito, Ecuador. Se encuentra realizando su Proyecto de Titulación con el tema: *Propuesta de una metodología de Diseño Paramétrico como aporte innovador para el proceso de Diseño de Productos*.

C. Michelle Elizabeth Meneses Camacho. Es estudiante de la Licenciatura de Diseño Gráfico Industrial de la Universidad de Las Américas, en Quito, Ecuador. Se encuentra realizando su Proyecto de Titulación con el tema: *Propuesta de una metodología de Diseño Paramétrico como aporte innovador para el proceso de Diseño de Productos*.

Lic. Orlando Buitrón Cevallos. Es Licenciado en Diseño Gráfico Industrial por la Universidad de Las Américas, en Quito, Ecuador. Su Proyecto de Titulación tuvo el tema: *Evaluación de la experiencia del usuario en conceptos de Diseño y Arquitectura contemporáneos mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes, basado y guiado en la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura y el Parametrismo de Patrik Schumacher*. Su pasión es encontrar formas y estructuras contemporáneas y no convencionales, generando emociones y experiencias mediante dichas formas.

Resumen

La irrupción de la tecnología en la sociedad aumenta el potencial de desarrollo y de innovación de sus diversas disciplinas del conocimiento. Dentro del Diseño de Producto las posibilidades son más evidentes y mayores en profundidad de aplicación. Más, la aplicación de la tecnología fuera de contexto cultural y de conocimiento provoca un uso ineficiente de recursos. Es pertinente aplicar el modelo teórico de Patrik Schumacher: *La Autopoiesis de la Arquitectura*, para proponer una metodología que esté estructurada de manera sistémica y sistemática y produzca diseño innovador. Este ensayo pone de manifiesto la transversalidad de la aplicación de varias disciplinas del conocimiento.

Palabras clave: diseño paramétrico, modelado digital, Revolución Industrial 4.0, la autopoiesis de la arquitectura, diseño-comunicación y función, innovación.

Abstract

The emergence of technology in society increases the potential for development and innovation of its various disciplines of knowledge. Within Product Design the possibilities are more evident and greater in depth of application. Moreover, the application of technology outside cultural context and knowledge causes inefficient use of resources. It is pertinent to apply the theoretical model of Patrik Schumacher: *The Autopoiesis of Architecture*, to propose a methodology that is structured in a systemic and systematic way, to produce innovative design. This essay reveals the transversality of application of some disciplines of knowledge.

Keywords: Parametric Design, Digital Modeling, Industrial Revolution 4.0, The Autopoiesis of Architecture, Design-Communication and Function, Innovation.



Gráfico Núm. 1
Estructura de exposición en la Universidad de Las Américas.

Marco Teórico

Las disciplinas proyectuales tienen características propias y particulares de practicidad y de aplicación del conocimiento, debido a lo cual necesitan un enfoque diferente cuando se requiere estructurar con ellas conocimiento nuevo si se le quiere hacer dentro de los límites rígidos sobre los que las ciencias fáctico-experimentales y las lógico-formales han construido su estructura teórica y sobre las cuales se plantean las hipótesis y los supuestos que serán sometidos a demostración.

Por otra parte, las ciencias fáctico-sociales o conjeturales entrañan un desafío al proceso de la generación de conocimiento, puesto que su contexto subjetivo plantea un conjunto de percepciones, cada uno con su propia validez. Este desafío se presenta incluso a pesar de usar como base y como contexto un marco teórico axiomático muy propio de las ciencias lógico-formales, puesto que este marco teórico generará percepciones, necesariamente prejuiciadas por la formación académica y el desempeño profesional de cada individuo. La exposición de estas percepciones estará rememorando las visiones particulares sobre un oficio y sobre los resultados específicos de ese oficio. Con el fin de superar este carácter que expresa la animosidad del ser humano y de la sociedad que él ha formado o ha pretendido formar, las ciencias fáctico-sociales realizan la desagregación de un sistema, el cual puede ser: un comportamiento social, un estado emocional afectivo, un espacio urbano o un producto de uso diario. En contraposición a la desagregación, las ciencias fáctico-sociales sintetizan un conjunto de observaciones que intentan describir una realidad percibida.

Es pertinente esta introducción, porque intenta crear el contexto para mostrar el objetivo principal del proyecto de investigación, desarrollado desde la Universidad de Las Américas en Ecuador, denominado así: *Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital*

pertinentes, es decir, la creación de una metodología de diseño que se presentará como una sugerencia. Esta metodología debe estar lo suficientemente sustentada para que su aplicación sea válida dentro de la academia y en el sector industrial. Además, en este artículo se pretende mostrar el marco teórico estudiado que sustentará esa metodología.

El proyecto de investigación nombrado tiene su marco teórico en el manifiesto *Autopoiesis¹ de la Arquitectura* de Patrik Schumacher, el cual muestra los resultados de sus estudios, análisis y teorizaciones. Este sustento teórico autopoietico a la vez se basa en la teoría de Niklas Luhmann, referida dentro de la Sociología, como lo manifiestan Rodríguez y Torres: “No sólo están organizados autopoieticamente las unidades orgánicas, sino también las formas sociales y las conciencias de los individuos” (Rodríguez y Torres, 2003:119). Aquí se debe recalcar que desde la Biología, Maturana y Valera plantean la Teoría de Autopoiesis. De ahí es tomada para las Ciencias Sociales por Luhmann, y luego por Patrik Schumacher para la Arquitectura. Es decir, los dos últimos autores trasladan una teoría nacida para sistemas orgánicos hacia sistemas sociales y luego a sistemas de conocimientos.

Dentro de los sistemas teóricos autopoieticos encajan las disciplinas proyectuales. Esta base conceptual sustenta al proyecto de investigación que se plantea en este ensayo, ya que se pretende analizar la significancia comunicacional (sociedad) de un objeto expositor en función de una teoría (conciencia cognitiva) que enmarca la formación autopoietica del conocimiento de la Arquitectura en general, y del diseño de producto en particular.

En sintonía con la propuesta de Schumacher, se busca teorizar sobre la práctica del diseño por medio del fortalecimiento sistémico de la teoría en que subyace la aplicación del oficio².

Por otra parte, acerca del enlace entre la tecnología de la llamada Revolución Industrial 4.0 y los procesos analizados en el proyecto, se planteará otro marco teórico más, con el fin de realizar la validación del objeto de estudio, y estará basado en uno de los métodos de análisis numérico desarrollado en la matemática: el análisis de elementos

finitos. Para propósitos de sustentación y generación de la evidencia en cuanto a la validación de la metodología que se obtendrá con el proyecto de investigación, se utilizará el Análisis de Valor Agregado (AVA), estructura conceptual que se aplicará tal como se lo presenta en la reingeniería de procesos dentro de las disciplinas de Administración de Empresas (Harrington, 1993:231). Para tal efecto se considerará al Diseño como si se tratara de una caja negra de procesos, en sintonía con la siguiente afirmación de Rodríguez (Rodríguez y Torres, 2003:124 y 125), cuando citaba a Luhmann en referencia a la relación entre sistema y entorno:

[...] son unidades autopoieticas aquellas que producen y reproducen los elementos de los que están constituidos, a partir de los elementos de los que están constituidos. Todo lo que estos elementos utilizan como unidad debe ser producido mediante esas mismas unidades. O dicho de otro modo: no existe ninguna unidad que se desempeñe como *input* para el sistema; ni ningún *output* que sirva de unidad que no provenga del sistema. Esto no quiere decir que no haya ninguna relación con el entorno, pero estas relaciones se sitúan en un nivel de realidad distinto al de la autopoiesis (Rodríguez y Torres, 2003: 124 y 125).

Es decir, la caja negra llamada Diseño de Producto será el sistema autopoietico autónomo y clausurado, con su posibilidad propia de generar estructuras internas: como una célula biológica en la explicación de Maturana y Varela, como un sistema social según Luhmann, como la teoría de Arquitectura según Schumacher. Todo lo que está afuera de la caja negra se denomina entorno, según la súper teoría para Sistemas Sociales de Luhmann, y se relaciona con ella en otro nivel de realidad. Aquí se puede hacer relación a los sistemas de comunicación donde se tiene la estructura observador-acción-resultados.

En definitiva y basado en el manifiesto 2.0 de la teoría de Schumacher, el proyecto de investigación y este artículo buscan exponer las capacidades y ventajas de la aplicación del Parametricismo como un estilo de diseño (Schumacher, 2016a)³. Esta propuesta no se presentará como un manifiesto transgresor en contra de los estilos de diseño existentes, ni como una metodología revolucionaria que implante un

nuevo paradigma, o mucho menos como un sistema inquisitivo que estandarice la práctica proyectual de los oficios actuales, sino que se mostrará como una propuesta de diseño ordenada, sistémica y sistematizada, nacida desde la realidad latinoamericana en cuanto a su comportamiento en sociedad y a la disponibilidad tecnológica, y en forma de una metodología sustentada dentro del marco teórico de la Autopoiesis de la Arquitectura.

El artículo final a producirse mostrará el caso específico de un objeto desarrollado para cumplir los preceptos de la arquitectura efímera. Se trata de una estructura construida con madera enchapada, diseñada según las direcciones de un *brief* que la orienta hacia el uso e interacción de la misma en una feria expositiva de objetos de diseño, realizada en Ecuador. La feria llevada a cabo se conoce internacionalmente con el nombre del Congreso Cromía, y se desarrolló en septiembre de 2015 en Quito.

El tipo de investigación planteada para este proyecto se trata de una investigación funcional más que causal. Relacionado con esto, está el interés en desentrañar el origen del objeto. Este modo de investigación es útil para el propósito de generar una metodología general, sistémica, pero aún en estado de propuesta y que no pierda su carácter de flexibilidad y adaptabilidad en el tiempo de acuerdo a cada circunstancia social, de necesidad o de deseo de un cliente.

Este enfoque de investigación funcional en lugar de causal⁴ tiene la siguiente ventaja: una investigación causal permite reproducir un cierto evento o fenómeno, mientras que una funcional abre el espectro hacia funciones equivalentes y sustituciones potencialmente innovadoras. El propósito de realizar el estudio planteado pretende convertirse en un observador desprejuiciado de los entornos de conocimiento de sus autores y proponer un nuevo observador, por lo menos de segundo nivel. Así lo dicen Matutana y Varela⁵:

"El observador que está colocado fuera de la operación y que mira desde un plano más abarcador, puede llevar a efecto enlaces causales entre operación y mundo circundante que no son accesibles [...] a los organismos que los efectúan..." (Rodríguez y Torres, 2003:120).

A raíz de esta investigación funcional, la metodología que se proponga con el proyecto de investigación proveerá al diseño de producto de la propuesta de una nueva solución con una nueva contextualización, donde se pueda escoger la tecnología apropiada para el producto sujeto de diseño. La Ingeniería será parte de esta metodología que promueva la verificación estricta y sólo la que redunde en beneficios de optimización de costos y de recursos.

Para finalizar con esta contextualización teórica, se citará a Schumacher (Schumacher, 2012:120), quien, en los comentarios de su Manifiesto, convoca a las ciencias de la Ingeniería para trabajar de manera transversal con las ciencias proyectuales. El producto final del proyecto será, justamente, una metodología nacida del disgregamiento analítico de los procesos que alimentaron el desarrollo final de la estructura de exposición. Esta metodología pretende demostrar cómo la Matemática, la Geometría y la Física potencian el trabajo creativo del diseñador, y cómo estas creaciones proyectan las aplicaciones de las ciencias duras. Estas interacciones continuas buscan optimizar los recursos, procurar un planeta sostenible y encontrar un espacio para la expresión del ser humano. Por otra parte, la concurrencia de disciplinas constructivas en la fase inicial del proceso de diseño introduce actividades que se basan en el pensamiento lógico y racionalista.

Diseño paramétrico de producto

Sustentación de la Hipótesis Núm. 1

En la Hipótesis Núm. 1 se aplicará la visión comprensiva de la ciencia al Diseño de Producto, es decir se le considera a éste como un sistema de comunicaciones cuya conceptualización supera al hecho de considerar solamente los objetos construidos. De hecho, el sistema de comunicaciones que aquí se plantea no tiene que ver con la transmisión de contenidos, sino con la coordinación de conductas.⁶ Esto es un postulado de Humberto Maturana, que también es recogido por Patrik Schumacher en el volumen 1 de *La Autopoiesis*.

Una teoría completa, sistémica y sistemática del diseño debe abarcar todos los sistemas de comunicaciones que, juntos, como red de referencias transversales, constituyen al diseño mismo como un sistema propio de comunicaciones (Schumacher, 2015). Esto se evidencia en el momento en el que el objeto construido es un evento cuya presencia cuantitativa es baja en comparación con toda la producción no construida del diseño (aquella que se queda en una fase conceptual). A esta dinámica se suma toda la producción orientada al diseño que se difunde en distintos canales de comunicación de manera cotidiana. Para sustentar el anterior aserto se toma el siguiente axioma planteado por Schumacher en la Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura:

Los sistemas emergen a través de actos de distinción dentro de un ambiente. Este es el criterio de emergencia planteado por Luhmann. El concepto de sistema y el concepto de ambiente son complementarios. Un ambiente es siempre un ambiente para un sistema. Los sistemas considerados dentro de la teoría son sistemas autopoieticos. Los sistemas autopoieticos son sistemas auto referenciados que producen todas sus unidades, elementos y estructuras, dentro de su propia red recursiva de reproducción. Los elementos son operaciones que producen información, por lo tanto diferencias que hacen la diferencia dentro de un sistema. Siendo diferenciado y operacionalmente

cerrados de su ambiente, un sistema puede observar su ambiente. Una observación es una operación que implica los momentos de distinción e indicación. Por lo tanto, cada observación implica un mundo particular como la unidad de la diferencia de lo que se está distinguiendo. Cualquier distinción determinada presupone un cierto campo conceptual u horizonte dentro del cual se establece. Esta presuposición se llama la unidad de la diferencia porque es lo que comparte lo que se distingue. Esta unidad de la diferencia es el inevitable punto ciego de la observación que sólo puede ser revelado por otra nueva distinción que tendrá su propio punto ciego a su vez (Schumacher, 2012b).

Sustentación de la Hipótesis Núm. 2

En los análisis de la Teoría de Maturana se empieza por establecer la aparente diferencia entre las dos vertientes de la Teoría del Conocimiento, por un lado el racionalismo y por el otro el empirismo (Maturana y Varela, 1984:119). Sin embargo, como se lee en Hawking (2016), Albert Einstein y mucho antes Isaac Newton habían planteado modelos teóricos nacidos únicamente de disquisiciones especulativas. Esas disquisiciones fueron respaldadas por modelos matemáticos construidos por otros científicos⁷ o por ellos mismos, como el caso de Newton, que fue quien estableció la estructura teórica que sustenta el Cálculo Infinitesimal, sistema de conocimiento matemático que valida teóricamente los postulados sintéticos de los físicos desde su época hasta la actualidad. Sin embargo, las pruebas empíricas fueron sucediéndose aún luego de la muerte de los dos genios nombrados, a quienes se puede etiquetar como racionalistas, aunque no en su sentido literal más puro.

La Hipótesis Núm. 2 será validada por medio de la sustentación teórica en los siguientes axiomas tomados de La Autopoiesis de la Arquitectura:

Tesis 27 (Sección 6.3 *Organización*): La habilidad en establecer nuevas relaciones forma-función requiere un sistema de conceptos de mediación abstracta que pueda

guiar la Correlación de patrones espaciales con patrones sociales.⁸ (Schumacher, 2012b:70).

Con ocasión del relanzamiento de su Parametricismo, Schumacher propone que las propuestas arquitectónicas de la época actual refuercen su protagonismo mediante de su interacción e integración con las disciplinas técnicas provenientes de la ingeniería. Dentro de este contexto se puede entrever una relación transversal entre el Parametricismo y las disciplinas de la ingeniería. Esta relación proviene de la declaración en el Manifiesto, donde expresa que las estructuras arquitectónicas comunican algo. Schumacher lo plantea así:

El aspecto fenomenológico requiere que cada participante sea capaz de perceptualmente descomponer el campo del espacio-visual en unidades identificables de interacción como una pre-condición de su orientación. El aspecto semiológico requiere además, que cada participante entienda el significado social de las unidades espaciales que él o ella puedan identificar dentro de su ambiente (Schumacher, 2016 *Advancing Social Functionality Via Agent-Based Parametric Semiology*).

Es interesante cómo el planteamiento de esta tesis, en cuanto a la descomposición del espacio y planteado desde el punto de vista de las ciencias sociales, se puede hacer análogo a la base teórica fundamental de los Elementos Finitos, tal como se explica en el parágrafo “Diseño Físico y Optimización de una Estructura Paramétrica: Un estudio de Elementos Finitos”.

Las siguientes tesis son formuladas por Schumacher (Schumacher, 2012b) y sustentan la aplicación multidisciplinar.

Tesis 28 (Sección 6.4 *Suplementando la Arquitectura con una Ciencia de la Configuración*): La tarea de la organización actual requiere un enfoque más explícito y un repertorio más elaborado de patrones organizacionales y un criterio más explícito y preciso para su evaluación que lo que razonablemente se puede esperar del conocimiento y sabiduría tácitos y acumulados de un arquitecto experimentado⁹. (Schumacher, 2012b: 88).

Tesis 58 (Sección 11.2 *El Programa de Investigación Paramétrico*): El éxito eventual de grandes esquemas unificadores en la ciencia se basa en la coherencia subyacente de la realidad. La racionalidad de la reivindicación de un estilo de universalidad reside en la ventaja de un ambiente construido coherente. El modernismo alcanzó la universalidad a lo largo del siglo xx. El parametricismo apunta a un logro equivalente en el siglo xxi.¹⁰ (Schumacher, 2012b: 654).

Dentro de la hipótesis Núm. 2, además de proponer el aporte transversal de las ciencias de la ingeniería, se agrega la presencia de la Teoría de Sistemas con el fin de que el proyecto de investigación tenga relevancia sistémica y holística. Sin embargo, se debe remarcar que el objetivo del proyecto no es proponer una metodología universal, en sintonía con la Teoría Universalista de Luhmann. Se trata, más bien, de una aproximación a la aplicación integral de sistemas de conocimiento, de acuerdo a Schumacher con la siguiente tesis:

Tesis 38 (Sección 7.4 *Diferenciación de los procesos clásicos, modernos y contemporáneos*): El diseño mediante reglas basadas en *scripts*¹¹ reemplaza el diseño mediante la manipulación directa de formas individuales. Los *scripts* pueden mejorar de manera única tanto el poder generativo del proceso de diseño como su poder analítico. La capacidad de combinar el potencial exploratorio de los descubrimientos sorpresa con la adhesión garantizada a criterios clave es la ventaja única de las nuevas técnicas computacionales. A través de estas técnicas, el proceso de diseño gana simultáneamente amplitud y profundidad¹² (Schumacher, 2012b:311).

Realizando una conjugación entre las dos hipótesis planteadas, en el proyecto de investigación se tomará al objeto diseñado como el acto de comunicación. Y, además, se propone que la ejecución efectiva y eficaz de ese objeto es posible mediante de la interacción colaborativa de varias disciplinas del conocimiento humano.

Hipótesis Núm. 1

La Teoría de la Autopoiesis de la Arquitectura constituye una sistematización teórica de dicha disciplina, que en el proyecto de investigación se extrapola, para mostrar su aplicación mediante el soporte metodológico hacia una de las disciplinas proyectuales, como es el Diseño de Producto. Esta sistematización como autopoiesis, por su parte, está basada en las Teorías sobre los Sistemas Sociales de Niklas Luhmann.¹³

Por lo tanto, utilizando como fundamento la Teoría de Autopoiesis de Patrik Schumacher, se plantea la primera hipótesis para el proyecto de investigación que se está analizando en este ensayo:

Los productos que resultan de los procesos de las disciplinas proyectuales son sistemas comunicacionales especializados que enmarcan toda la interacción social. Desde este concepto, la humanidad actual posee la estructura social que posee debido a la presencia de esos productos diseñados. El parametricismo es un estilo que podría marcar pautas de innovación en el Diseño de Producto.

Hipótesis Núm. 2

De la misma forma en que Patrik Schumacher escribe en el Manifiesto de Parametricismo que las ciencias de la Ingeniería establezcan relaciones transversales con la Arquitectura, y en el caso de este Proyecto de Investigación con otras disciplinas proyectuales, y específicamente con el Diseño de Producto, aquí en la Hipótesis Núm. 2 se plantea que la ejecución efectiva de un objeto parametricista se puede incrementar con la participación de contenidos teóricos de la Ingeniería Mecánica y de la Ingeniería Estructural.^{14,15}

Plan estratégico

Con el fin de demostrar las dos hipótesis planteadas en este artículo, se ha trazado un plan estratégico cuyo objetivo es obtener la metodología que explique las actividades

que permitan realizar el diseño de un producto alineado con las necesidades sociales de los seres humanos.

Para ello, en primer lugar se han presentado los sistemas teóricos que sustentan las aplicaciones tecnológicas y las tareas técnicas que en conjunto validarán el diseño, cuyo resultado es la estructura expositiva. Luego se mostrará la definición de Diseño Paramétrico, con el fin de continuar luego con Herramientas Paramétricas y Diseño Parametricista. De esta manera se mostrará la diferencia de significado y la complementariedad entre esos dos sistemas de conocimientos. Por un lado, las herramientas paramétricas son fundamentales para la debida comprobación estructural de la estructura expositiva y así evitar su colapsamiento una vez armada o por la interacción con los visitantes de la feria. Por otro lado, el diseño mismo y su desarrollo posterior están vinculados con esas herramientas, ya que la complejidad de formas implica suma atención en sus procesos de manufactura y de construcción, con el fin de facilitar su transporte, montaje e implantación final.

La decisión de los directores de este proyecto de construir un sistema basado en el estilo parametricista planteaba un requisito fundamental que debían poseer los estudiantes que participaron en su diseño y construcción, así como los que se integraron a su proceso de análisis y sustentación mostrado en este artículo. Ese requisito es la suficiencia en la aplicación de conocimientos básicos imprescindibles, como reza uno de los párrafos planteados dentro de esta planeación. Para ello fue necesario el sustento del proyecto en la simiente de una metodología planteada empíricamente por sus directores.

Durante ese proceso creativo, los estudiantes se enfrentaron constantemente al límite académico de su malla curricular, sin embargo, fue superado por el potencial que otorgan las herramientas tecnológicas de la Cuarta Revolución Industrial, que en párrafos siguientes se presentan dentro del párrafo “Posibilidades de aplicación de la Ingeniería y en variables para la simulación de Ingeniería”.

Diseño paramétrico

A partir de la Segunda Revolución Industrial se incentivó la estandarización de los procesos productivos con el fin de disminuir tiempos de producción y buscando la optimización de los recursos, siempre escasos en el planeta Tierra. Esa estandarización se aplica mediante la Normativa Técnica regulada por la International Standardization of Organization (ISO). La estandarización se evidencia básicamente con dimensiones y tolerancias dimensionales, y con menor visibilidad con tolerancias geométricas. Así se consigue la intercambiabilidad entre objetos provenientes de diversos sistemas, y también la complementariedad entre productos. Por esta razón, por un lado se tienen repuestos, y, por el otro, accesorios. Para cuando se dio la Tercera Revolución Industrial ya era evidente otro resultado de la estandarización y ligado a la parametrización: la Familia de Objetos o Productos.

Pero no se puede ubicar en esos estadios del desarrollo de la sociedad humana el origen del Diseño Paramétrico, sino cuando los primeros humanos, conocidos como *Homo Sapiens*, empezaron a distribuir sus recursos, ahí inició la sociedad humana a hacer un trabajo basado en lo paramétrico: medidas estándares para asegurar un racionamiento justo. Como lo dice Schumacher respecto a los modos de producción por medio de la historia:

[...]Although the theory of architectural autopoiesis is built upon Niklas Luhmann's theory of society which has developed its own compelling principle of periodization, some of the more detailed historical analyses that were developed within the Marxist framework cannot be fully dispensed with here. Thus, in what follows, the attempt has to be made to reinterpret and integrate some pertinent Marxist concepts within the overarching framework of Luhmann's theoretical system. Luhmann's framework establishes the key category of 'predominant mode of societal differentiation'. This category replaces Marx's category of fundamental 'modes of production' as key to the individuation of historical epochs [...] (Schumacher, 2012b: 623- 624).

Luego, es necesario dar un salto en el tiempo, hasta la sociedad de la Grecia clásica, con grandes filósofos, donde destacan los geómetras y los astrónomos, con sus sistematizadas actividades para proyectar los contornos de la Tierra y sus múltiples texturas, es decir, para proyectar montañas, ríos y valles en una representación planimétrica y, por ende, paramétrica. La tarea de esos pensadores se sistematizó en técnicas de parametrización y es innegable la influencia mutua con sociedades de Medio y de Extremo Oriente.

Posteriormente, ya superando el rezago científico producido durante la Edad Media, el Renacimiento muestra en las ciudades estado de Europa los diseños parametrizados de ciudades y de sus edificios, así como en sus productos de uso diario. Pero así también en el incipiente renacimiento de la ciencia, de cuyas luces paramétricas se tienen los bocetos de Leonardo Da Vinci, así como de sus dibujos, pinturas y retratos, singular simbiosis entre el creador, el técnico y el científico, representante del hombre ilustrado del Renacimiento.

Toda esta simiente de la ciencia ya presentaba un claro carácter axiomático, para su autoconstrucción autopoiética, y paramétrica, para su explicación y su aplicación.

Herramientas Paramétricas y Diseño Parametricista

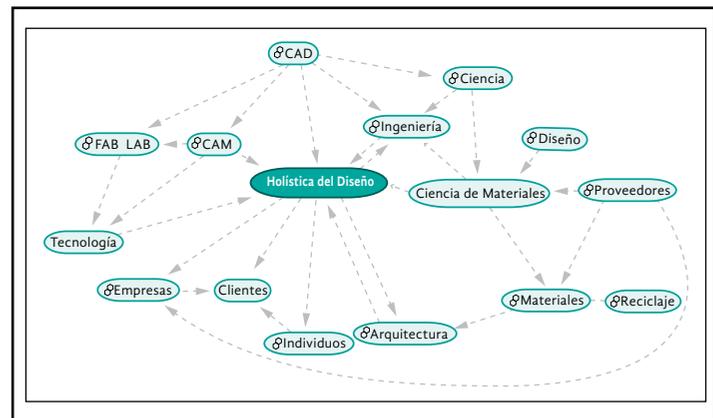


Gráfico Núm. 2

Interrelación multidisciplinaria y de mercado

A partir de una actitud simplificadora al máximo se puede manifestar que el Diseño Parametricista tiene su utilitario en las herramientas del Diseño Paramétrico.

Schumacher solicita la presencia de las ciencias aplicadas de la ingeniería para la ejecución óptima de los proyectos parametricistas.¹⁶ Y dentro de la revolución tecnológica que se vive en el siglo XXI son importantes las herramientas de simulación de ingeniería conocidas dentro del lenguaje técnico como CAE (Computer Aided Engineering), cuyos aportes son sostenidos por la Teoría de Elementos Finitos y por los sucesivos procesos para análisis ubicados en la Modelación de Elementos Finitos y en el Análisis de Elementos Finitos.

Se debe manifestar aquí que la correcta aplicación del CAE implica la interpretación del modelo o prototipo digital. Esto es, para ampliar este entendimiento se deben tomar las partes del sistema digitalizado que den información relevante para la simulación y por ende para el análisis. Es decir, a pesar de la necesidad extrema que tiene un modelo CAE de un modelo CAD (Computer Aided Design), no necesariamente el modelo CAE debe tener todos los detalles que tiene un modelo CAD para la manufactura.

A partir del modelo CAD, su participación en otros *softwares* dependerá de los criterios profesionales y de los objetivos de cada proyecto. Esto es, aparte de la aplicación directa que en el caso del proyecto de investigación se dio con el CAE, hubo interacción del CAD con un *software* CNC (Computer Numerical Control) con fines de manufactura sustractiva para el corte de los tableros, o aditiva para el caso de impresión 3D de un prototipo. Además, puede actuar con un *software* CMM (Coordinate Measuring Machine) con fines de verificación de dimensiones.

Este tipo de interacciones usando un sólo archivo digital o variaciones paramétricas a partir de uno básico, permite realizar estudios conceptuales con el nivel de rigurosidad que el producto de estudio y su proyecto necesiten. Es decir, estos estudios conceptuales pueden profundizarse en función de los niveles de experiencia disponibles dentro del recurso humano, o, además, en función del costo-beneficio involucrado en un desarrollo de producto. El fin

último siempre buscará la optimización de recursos: selección de materiales, cantidad de materia prima, selección del proceso de manufactura, tiempo de desarrollo y tiempo de mano de obra.

Conocimientos básicos imprescindibles

Geometría de Euclides

La arquitectura de programación de los *softwares* de modelamiento digital considera un bocetaje en dos dimensiones, en el cual se basa el modelo final de tres dimensiones. Su caracterización científica se da en la Geometría Plana y en la del Espacio.

Sistema de coordenadas cartesianas

El sistema propuesto por Renato Descartes para describir la ubicación de un punto en el espacio tiene múltiples aplicaciones directamente en la Ciencia, así como en las disciplinas aplicadas que son objeto de este estudio. Su lectura y su definición como sistema puede hacerse tanto en dos dimensiones como en tres. Su caracterización científica se denomina Geometría Analítica.

Dibujo Técnico

El Dibujo Técnico como una aplicación directa de la Geometría Plana y la Geometría Analítica se muestra como la herramienta de interacción del proyectista con su producto objetivo y puede ser manifiesto en la Ingeniería de Manufactura, la Arquitectura, la Ingeniería Civil y la Ingeniería Mecánica.

Álgebra Vectorial

Esta disciplina produce la interacción de los planteamientos del sistema de coordenadas de Descartes junto con la Geometría Analítica. Pero la complementa en el sentido de que dentro del Álgebra Vectorial es importante el sentido

de rotación de cualquiera de los ejes de representación cartesianos. A su vez, usando el respaldo del Álgebra Vectorial, se producen las líneas de comando con códigos G, útiles para las máquinas controladas con CNC.

Física

Uno de los campos de estudio de la Física que servirá para el estudio funcional investigativo considerando el análisis del sólido rígido, es la Estática. A partir de la estática del objeto se realizará el análisis cinemático del mismo para determinar su capacidad de volteo.

Ingeniería de Manufactura

Si bien al aplicar el Dibujo Técnico para el Diseño de Productos se asignan tolerancias a las dimensiones de toda la geometría, se deben, además, considerar otras tolerancias, que tienen que ver con los procesos de manufactura, sean éstos para producción en serie o para producción individual. Cuando se realiza el modelamiento digital se deben aplicar esas tolerancias al objeto a diseñarse.

Posibilidades de aplicación de la Ingeniería

Usando el *software* CATIA y su módulo de simulación de Ingeniería se estableció un sistema de cargas externo simulando el escenario de reacciones extremas sobre la estructura.

Las reacciones susceptibles de estudio son: desplazamientos, dilataciones térmicas, sistemas de vibraciones, esfuerzos y puntos de análisis crítico. Para el caso de la estructura expositiva sometida a análisis se tiene que está sometida a un sistema de fuerzas combinadas que generan un sistema de esfuerzos combinados: tracción, flexión, pandeo y fatiga.

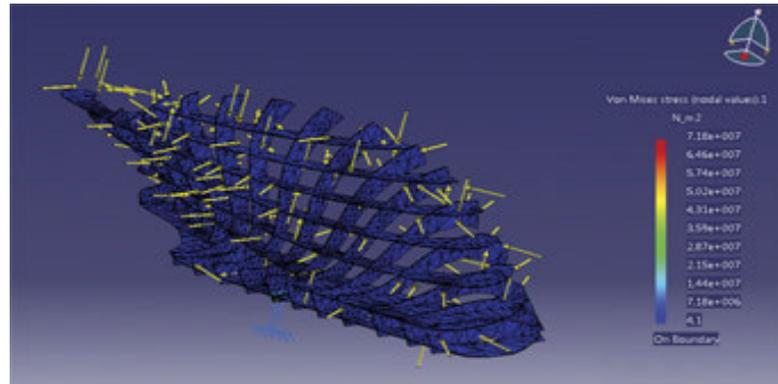


Gráfico Núm. 3
Modelo de simulación CAE de la estructura de exposición

Variables para la simulación de Ingeniería

El uso de los criterios de parametrización desde los puntos de vista de la Ingeniería permite la optimización de sistemas complejos. Son sistemas complejos desde varias categorías de análisis: sistemas de cargas complejos, sistemas de esfuerzos de reacción complejos y sistemas complejos de interacción geométrica y de forma.

Suposiciones para la simulación

El primer análisis considerará que la estructura está anclada al piso. Así se determinarán los nodos críticos de la estructura en este escenario extremo.

El segundo análisis considerará un caso de volteo de la estructura, justo en el momento previo al volteo. Así se determinará la carga máxima que puede soportar antes de que se produzca el evento.

En estos dos escenarios básicos se supone que las planchas de madera son continuas. Sin embargo, por disponibilidad de tamaños de tableros estándares, se les incorporaron placas de acero para producir su ensamble en una forma rápida.

Diseño Físico y Optimización de una Estructura Paramétrica: Un estudio de Elementos Finitos

La estructura que se está estudiando está diseñada para ser un objeto expositivo de carácter efímero, por ello su material es la madera.

La estructura paramétrica estudiada fue creada dentro de un trabajo de taller para alumnos de diseño de la Universidad de Las Américas, a partir del uso de la herramienta llamada torsión de superficies del *software* de modelado digital llamado Rhinoceros, con el fin de diseñar una estructura basada en los manifiestos del parametricismo. A este modelo digital se le realizó la simulación del caso estático en el *software* CATIA V5R21, ubicándole restricciones de cero grados de libertad en su base y sometiéndole a cargas distribuidas de manera uniforme sobre las superficies de la estructura. El *software* generó la malla para el Análisis de Elementos Finitos. En la simulación del caso estático se aplicó el análisis de esfuerzo según el criterio de falla de Von Mises. Además, se analizó la deformación de la malla. Con base a esta primera optimización se construyó el objeto en madera enchapada usando tabloncillos de espesor 15 mm y de dimensiones 1,20 × 2,40 metros cortados a la forma final en una máquina CNC de dos ejes. En este estudio se determinará la relación esfuerzo-deformación en los puntos críticos de la estructura.

Introducción al modelado digital

Para su simulación, la estructura usa una malla compuesta de tetraedros generada automáticamente por el *software*.

Establecimiento del modelo matemático

En este ítem es de suma importancia la Teoría de Campos del Álgebra Vectorial. De esa manera se definirán los límites de frontera y las condiciones para esa frontera, mismas que tienen que ver con las características de los materiales utilizados: densidad de la madera y espesor de la sección

transversal. Estas dos variables permiten determinar la resistencia de la madera, así como también direccionar el análisis para optimizar el espesor de los tabloncillos. Este análisis, a su vez, señalará los rangos de espesor de la madera sin que la estructura presente riesgos desde su corte, en su transporte, durante su armado y durante su exposición, y finalmente para su almacenaje o destino final.

El sistema de cargas que se define en un sistema tiene que ver con la primera Ley de Newton, es decir, la suma de fuerzas es cero para un sistema estático.

Sistema de cargas

Los materiales que dan cuerpo a la estructura tienen densidad, propiedad física que establecerá el peso de la estructura. Dentro de la Ingeniería Estructural este peso se considera dentro de las cargas muertas. Debido al carácter expositivo de la estructura, otras cargas que no se consideran para el análisis, por no existir, son: carga de lluvia, nieve y granizo. Y otras cargas son irrelevantes por situarse la estructura dentro de sitios cerrados: carga de viento, carga por dilatación térmica debido a la influencia del sol o del calor del medio ambiente.

Conclusiones

Se han presentado, a modo de ensayo, los componentes del proyecto de investigación llamado *Elaboración de una metodología de aplicación de conceptos de diseño y arquitectura contemporáneos, mediante el uso de herramientas de tecnología digital pertinentes*. Estos son: el modelo teórico basado en la Autopoiesis planteado por Patrik Schumacher y sus respectivos antecedentes conceptuales, las disciplinas científicas y técnicas que de manera transversal permitirán la validación experimental del producto estudiado, la descripción básica del modelo de simulación matemática en *software* y el resultado que se espera de dicho proyecto. Restan por realizar las pruebas experimentales escogidas para compararlas con los resultados que el *software* produzca, y en base al Análisis de Valor Agregado sustentar el modelo teórico de metodología que permita una creación recursiva de objetos mediante el Diseño de Productos utilizando herramientas paramétricas y estilos parametricistas.¹⁷

Por medio de las pruebas de validación planteadas en el proyecto de investigación se pretende demostrar la Hipótesis Núm. 1 planteada en este ensayo. En uno de los experimentos diseñados se muestra la interacción del objeto de estudio con las personas y a partir de los resultados obtenidos se puede concluir que constituye un sistema de comunicación. Es un sistema de comunicación con varios subsistemas que, entre varios de ellos, se muestran desde su concepción inicial dentro del Taller de Innovación en Diseño realizado con estudiantes. A continuación, mediante su modelamiento digital y su simulación en un *software* de ingeniería se realiza la verificación de su estabilidad estática y estructural. Estática, debido a la compleja interacción de cargas y de ensambles. Estructural, para definir su respuesta ante factores externos. Hasta llegar al uso de máquinas automatizadas para su manufactura y así lograr el ensamble perfecto entre las piezas.

En el Taller de Innovación en Diseño la estructura de exhibición se muestra como un sistema de comunicación porque en su definición se presentan conceptos y

parámetros nuevos que los estudiantes no los tienen dentro de su plan curricular: Matemática de las Superficies, Ensamblaje de Piezas de Madera, Análisis Estructural, Criterios de Exposición de Objetos al Público.

Se tiene otro subsistema de comunicación al provocar el diseño colaborativo y concurrente cuando se utiliza el archivo de modelado digital para establecer puentes de trabajo con otros profesionales afines y transversales al trabajo de los diseñadores: arquitectos, ingenieros mecánicos, ingenieros civiles, ingenieros industriales.

Además, los criterios de los diversos profesionales que colaboraron en la producción de la estructura se comunicaron a los estudiantes mediante imágenes extraídas del modelado digital, mismas que al incluir anotaciones y observaciones permiten transmitir mensajes a los estudiantes para que acojan las oportunidades de mejora y la incorporen al diseño del objeto.

Finalmente, se presenta un subsistema de comunicación netamente digital, cuando se establece la interfase entre los archivos que contienen el modelado y el lenguaje de programación de la máquina CNC que realizó los cortes de las piezas componentes de la estructura. En este subsistema son de suma importancia las decisiones de diseño que toman las personas para definir la estrategia de manufactura que permita la optimización del tiempo de producción y del uso de la materia prima. Esas decisiones de diseño se verán reflejadas en un sistema de comunicación, que es la hoja de manufactura que define los procesos de transformación del material.

Para un siguiente artículo se propone exponer los resultados de la observación de la interacción de la estructura armada y en exposición, con las personas que visitan habitualmente un espacio público. Sin embargo, se puede adelantar sobre temas como: organización y distribución del espacio por medio de una estructura parametricista, establecimiento de vías de comunicación de las personas con la estructura de exhibición.

Por otra parte, la Hipótesis Núm. 2 se basa en un planteamiento que hace Patrik Schumacher en su manifiesto, en el sentido de que la actividad pluridisciplinar específicamente

con las ciencias de la ingeniería permitirá que el Diseño Parametricista sea aplicado en forma efectiva y así cumpla con su objetivo de satisfacer la función social. Debido a su rigurosidad estandarizada y normativa, la ingeniería soporta la aplicación efectiva de los *softwares* de tipo paramétrico que permiten la resolución de las complejas formas de los objetos diseñados bajo el estilo parametricista. Los antecedentes de la metodología aquí presentada muestran que sin el soporte del modelado digital hubiera sido imposible llevar a término el diseño bajo las limitantes impuestas por el tiempo de entrega de la estructura expositiva y de los requerimientos planteados por la exposición.

Para la demostración de la Hipótesis Núm. 2 se hace manifiesto el fuerte fundamento científico de la Teoría de Autopoiesis de Patrik Schumacher, por ello este artículo tiene un extenso Marco Teórico, donde se muestra el sistema de interrelaciones multidisciplinares que fue necesario aplicar para obtener la estructura que se fabricó y que se encuentra en exposición en la Universidad de Las Américas.

El establecimiento de los canales de comunicación entre profesionales especializados y estudiantes universitarios de Diseño de Producto sólo ha sido posible a través de la interacción de archivos digitales generados en *softwares* de modelado que tienen interfase entre ellos y una integración donde no hubo distorsión de la información ni del conocimiento generado.

A este aporte digital debe agregarse la necesidad de la planeación de un sistema de control del desarrollo del producto, dada la cantidad de recursos involucrados: humanos, materiales, tecnológicos, de conocimiento y de profesionalización.

El trabajo de Schumacher presenta una propuesta de teorización de los contenidos de la arquitectura con el fin de proveer a esta disciplina una estructura similar a las ciencias lógico-formales. En el volumen 2 de su obra, a modo de epílogo en el capítulo 12, escribe sobre la base teórica de la arquitectura y explica en su manifiesto la necesidad de darle una naturaleza comprensiva, tal como la estructura que tienen ciencias como la Matemática. Aquí

cabe una digresión sobre la velocidad de crecimiento de la tecnología en general, y las tecnologías digitales en particular. Su crecimiento desmesurado, casi irruptivo según su área de aplicación, amerita contextualizar de manera teórica su evolución, difusión y crecimiento, so pena de caer en la aplicación incompleta y no pertinente de la tecnología, en crear cementerios de chatarra tecnológica, en descuidar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias básicas y en desprestigiar las ciencias aplicadas y las disciplinas profesionales nacidas de todas las ciencias. Esta concepción autopoietica y, sobre todo, las aplicaciones resultantes de esta teorización se pueden extrapolar y aplicar a las demás disciplinas proyectuales, entre ellas, y de manera natural dentro de este ensayo: *El Diseño de Producto*.

Se debe manifestar que lo relevante e innovador del segundo manifiesto de Schumacher respecto al primero, radica en su propuesta de orientar la aplicación de las herramientas computacionales y las nuevas tecnologías dentro del Diseño hacia la satisfacción de las necesidades sociales, y aquí es necesaria una digresión, planteada desde una visión de la sociedad por parte de los autores de este ensayo: esta propuesta se presenta esperanzadora y renovadora en contraposición a un sentimiento del inconsciente colectivo, atemorizado por el sucesivo reemplazamiento que provocarán las máquinas robotizadas y la inteligencia artificial de la mano de obra de los seres humanos, por un lado, y al progresivo agrandamiento de la brecha de conocimiento entre países desarrollados con relación a los países en desarrollo, por el otro.

Notas

- 1 La Autopoiesis como modelo teórico tiene su origen en las concepciones de los biólogos Maturana y Varela, según lo señala Rodríguez: "La característica más peculiar de un sistema autopoietico es que se levanta por sus propios cordones y se constituye como distinto del medio circundante a través de su propia dinámica, de tal manera que ambas cosas son inseparables" (Maturana y Varela, 2003: 28).

- 2 “[...] Cualquier cosa que destruya o limite [...], desde la competencia hasta la posesión de la verdad, pasando por la certidumbre ideológica, destruye o limita el que se dé el fenómeno social, y por lo tanto lo humano, porque destruye el proceso biológico que lo genera” (Maturana y Varela, 1984:163). Se puede interpretar como fenómeno social a los conocimientos generados por la humanidad, entre ellos la Arquitectura.
- 3 Una de las ventajas es desarrollar la función social del objeto. Este aserto se basa en un texto que es una traducción libre realizada por Valeria León, Michelle Meneses y Orlando Buitrón, sobre el texto *Advancing Social Functionality Via Agent-Based Parametric Semiology* [Abstract] (Schumacher, 2016a).
- 4 “[...] las explicaciones científicas no explican un mundo independiente, explican la experiencia del observador” (Maturana y Varela, 1984:89).
- 5 “La solución como todas las soluciones de aparentes contradicciones, consiste en salirse del plano de la oposición y cambiar la naturaleza de la pregunta a un contexto más abarcador” (Maturana y Varela, 1984:89).
- 6 “[...] hay comunicación cada vez que hay coordinación conductual en un dominio de acoplamiento estructural” (Maturana y Varela, 1984:130).
- 7 Highfield, R. (2003). *Las vidas privadas de Albert Einstein*. España: Folio.
- 8 Basado en una traducción libre de Claudia Valverde (Schumacher (2012). *The Autopoiesis of Architecture*, Vol. 1 & Vol. 2.).
- 9 *Idem*.
- 10 *Ibid.*, 9.
- 11 *Script* se puede interpretar semánticamente como la estructura algorítmica que sintetiza una técnica o una metodología de Diseño, de modelado o de representación gráfica.
- 12 *Ibid.*, 9.
- 13 Traducción libre de Orlando Buitrón (Schumacher, 2015). A su vez, la súper Teoría de Luhmann se basa en la investigación experimental del biólogo Maturana.
- 14 El mismo origen de la Teoría Autopoiética secunda la formación de diálogos multidisciplinares (Rodríguez y Torres, 2003:107).
- 15 “[...]avant-garde design projects are best understood as hypotheses, formulated within a certain style. The style serves as a research programme that allows for a systematic series of design experiments...” (Schumacher, 2012b: 618).
- 16 “[...] avant-garde styles might be interpreted and evaluated in analogy to new scientific paradigms, sponsoring a new conceptual framework and formulating new aims and methods [...]” (Schumacher, 2012b:618).

- 17 “El problema para Kant se resuelve si es que existen juicios sintéticos a priori, que se fundamentan en principios preexperimentales y que, a pesar de eso, aportan un paso adelante al conocimiento”. (Rodríguez y Torres, 2003:120).

Referencias

- Harrington, H. J. (1993). *Mejoramiento de los Procesos de la Empresa*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Hawking, S. (2016). *A Hombros de Gigantes*. Barcelona: Crítica.
- Highfield, R. (2003). *Las Vidas Privadas de Albert Einstein*. España: Folio.
- Maturana, H. y Varela, F. (2003). *El Árbol del conocimiento: las bases biológicas del entendimiento humano*. Buenos Aires: Grupo Editorial Lumen.
- Rodríguez, D. y Torres J. (2003). "Autopoiesis, la unidad de una diferencia: Luhmann y Maturana". *Sociologías*. Año 5. N. 9. Enero-Junio. Dossie. Porto Alegre.
- Schumacher, P. (2012a). *The Autopoiesis of Architecture*, Vol. 1 & Vol. 2. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd. Traducción de María Claudia Valverde (2017).
- Schumacher, P. (2012b). *The Autopoiesis of Architecture*, Vol.2. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Schumacher, P. (2015). *The Autopoiesis of Architecture*, Vol. 1. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Schumacher, P. (2016a). *Advancing Social Functionality Via Agent-Based Parametric Semiology* [Abstract]. *Architectural Design*, 86(2), 108-113. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ad.2031>. Traducido por Valeria León, Michelle Meneses y Orlando Buitrón (2017).
- Schumacher, P. (2016b). *Advancing Social Functionality Via Agent-Based Parametric Semiology. AD Parametricism 2.0 - Repensando la agenda de la arquitectura para el siglo XXI*. Editor: H. Castle, dirigido por Patrik Schumacher, Perfil AD # 240, marzo / abril de 2016. <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Advancing%20Social%20Functionality%20via%20Agent%20Based%20Parametric%20Semiology.html>. Traducción de Orlando Buitrón (2017).
- Schumacher, P. (2016c). *Parametricism 2.0. 0.5 The Premises Imported from Social System Theory*. Traducción de Orlando Buitrón (2017).
- Schumacher, P. (2015). *The Autopoiesis of Architecture*, Vol. 1. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.