

A01

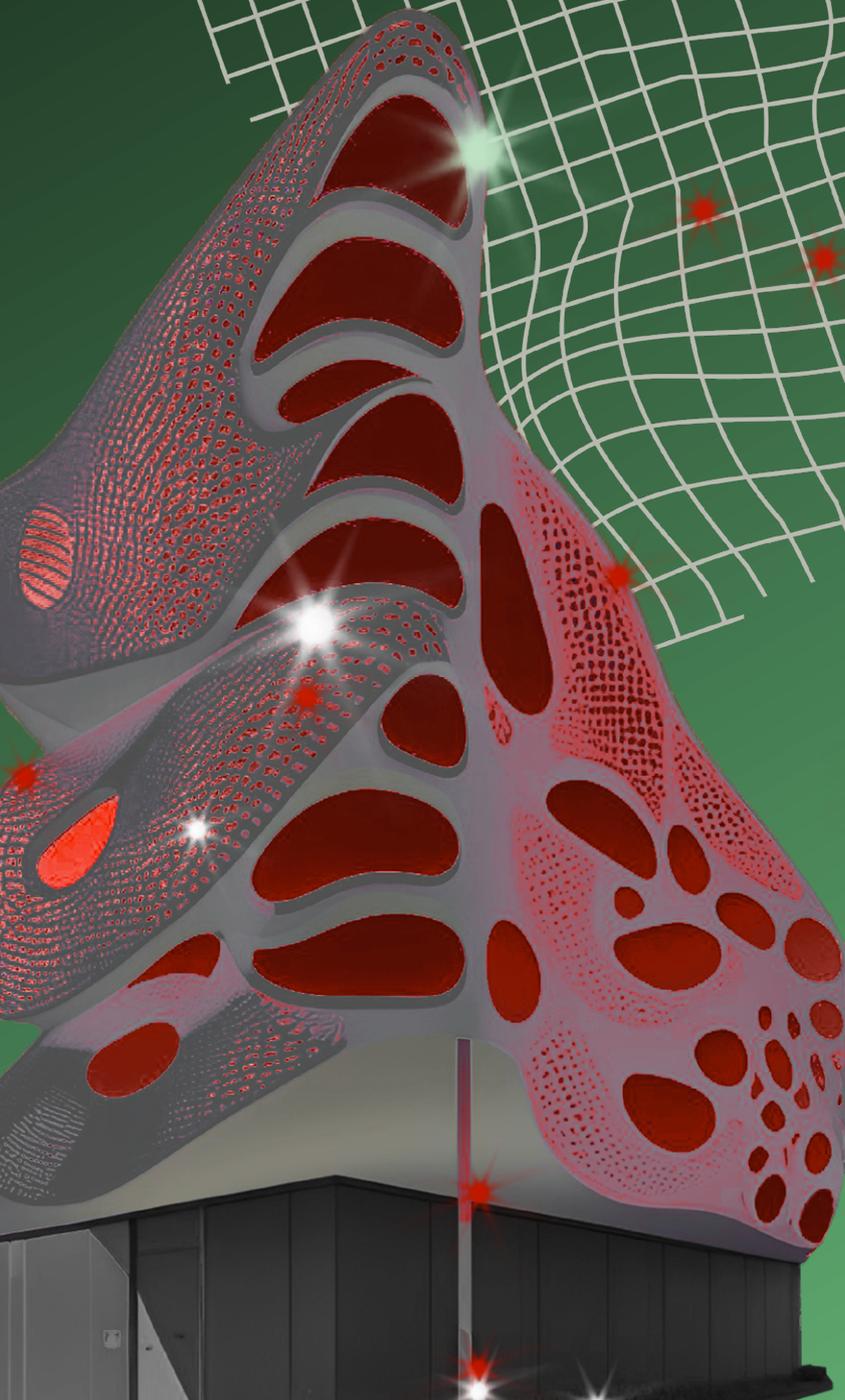
DISEÑO PARAMÉTRICO: ORÍGENES, PRINCIPIOS E IMPLEMENTACIÓN EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

PARAMETRIC DESIGN: ORIGINS, VALUES AND IMPLEMENTATION
IN THE AUTONOMOUS UNIVERSITY OF QUERÉTARO

Valentyn Vladyslav Kotsarenko^{1*}
Guillermo Ivan López Domínguez¹
Verónica Leyva Picasso¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

*valentyn.kotsarenko@uaq.edu.mx



RESUMEN

El progreso tecnológico y la digitalización presentan nuevas oportunidades en distintos campos profesionales, como el diseño arquitectónico. Entre las posibilidades de las últimas décadas resaltan los diseños paramétrico y generativo. El presente escrito tiene como objeto explorar sus orígenes, definiciones y qué conceptos influyen sobre ellos; además, comenta tanto las ideas que conllevan a una particular forma de

En el ámbito arquitectónico, los diseños paramétrico y generativo se presentan como oportunidades innovadoras donde su implementación y estudio de herramientas representan una evolución significativa tanto para el proceso de diseño, como los futuros programas educativos.

pensar y diseñar como a los instrumentos digitales que evolucionan el rol del diseñador. Por otra parte, se exploran y analizan los casos de implementación de dichas herramientas en la Universidad de Granada, de Monterrey y del País Vasco, con el fin de que la Universidad Autónoma de Querétaro las adopte. Esto se llevó

a cabo por medio del desarrollo de un diplomado conformado por 5 módulos con diferentes enfoques y objetivos. 30 participantes materializaron 2 prototipos paramétricos y evidenciaron su experiencia por medio de una retroalimentación que presentó variables de implementación en el contexto relativo.

Mientras los instrumentos explorados representan una evolución e impulso significativo para el proceso de diseño, la experimentación dejó rastro de un panorama favorable para su ensayo continuo en futuros programas educativos.

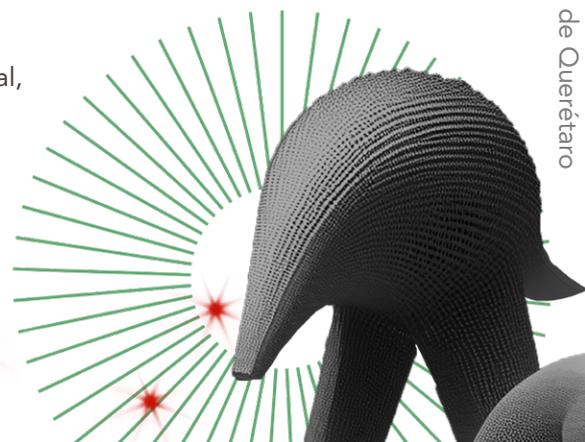
Palabras clave: Arquitectura, diseño, educación, experimental, generativo, paramétrico.

ABSTRACT

Technological progress and digitization present new opportunities in different professional fields, such as architectural design. Among the possibilities of the last decades, parametric and generative designs stand out.

The purpose of this paper is to explore their origins, definitions and what concepts influence them. In addition, it comments on both the ideas that lead to a whole way of thinking and designing and the digital instruments that evolve the role of the designer. On the other hand, the cases of implementation of these tools in the University of Granada, Monterrey and the Basque Country are explored and analyzed, so that the Autonomous University of Querétaro adopts them. This was carried out through the development of a diploma course consisting of 5 modules with different approaches and objectives. In it, 30 participants materialized 2 parametric prototypes and evidenced their experience through feedback that presented implementation parameters in the relative context. While the instruments explored represent a significant evolutionary impulse for the design process, the experimentation carried out left a trace of a favorable panorama for its continuous testing in future educational programs.

Keywords: Architecture, design, education, experimental, generative, parametric.



INTRODUCCIÓN

Las tecnologías computacionales y la digitalización reestructuran la forma de pensar y trabajar en distintos sectores profesionales, como el del diseño arquitectónico. Los procesos paramétrico y generativo se manifiestan como instrumentos que brindan nuevas oportunidades para el desarrollo de proyectos. La fase de diseño puede potencializarse, si se permite generar un número indefinido de iteraciones a un mismo problema en tiempos récord.

Una reflexión sobre el avance tecnológico nos conduce a la idea de Kurzweil¹ (2001): “La tecnología va más allá de la mera fabricación de herramientas; es un proceso de creación [...] cada vez más poderosa utilizando las herramientas de la ronda anterior de innovación”. Su comentario pone en perspectiva el sendero tecnológico evolutivo que usa herramientas de generaciones pasadas para crear nuevas. Es similar a lo que ocurre en los procesos biológicos, ya que las nuevas descendencias de seres vivos, al mutar e innovar su propio organismo, graban la “nueva tecnología” en el ADN de la especie y, por ende, las siguientes generaciones se basan en el mejoramiento de sus ancestros para seguir evolucionando.

Asimismo, el cofundador de la compañía Intel[®]² Gordon Earl Moore (2006, p. 61) expresa: “La complejidad de los circuitos integrados se ha duplicado apro-

ximadamente cada año desde su introducción. El costo por función se ha reducido miles de veces, mientras que la productividad y confiabilidad del sistema han mejorado drásticamente”. Mientras la idea de Kurzweil desde una visión general considera la velocidad con la que la tecnología progresa, la afirmación de Moore especifica este efecto en el sector computacional; cada generación de equipos dispone nuevas oportunidades para el desarrollo de los procesos más complejos de la siguiente.

En la actualidad, dicho efecto se puede contemplar en las capacidades de procesamiento que exhiben los dispositivos móviles. Es visible cómo estas han logrado alcanzar e incluso superar las de equipos de cómputo de una década atrás. Mientras la tecnología computacional progresa e innova en los sectores profesionales, hay que reflexionar cómo puede propiciarse su respectiva adopción e implementación en el ámbito laboral y educativo. En este caso, se exploran los temas de los diseños paramétrico, generativo y modelado de la información de la construcción (MIC³).

ORÍGENES Y DEFINICIONES

En la actualidad, el concepto se presenta y facilita por medio de herramientas paramétricas como Grasshopper[®], Dynamo[®], VizPro[®], Fusion 360[®], que permiten producir geometrías complejas y llamativas para el ojo. El diseño paramétrico integra una naturaleza de trabajo digital y forma parte de una dimensión de pensamiento más profunda que se visualiza desde diversos

acontecimientos históricos, y desde antes de que fuera posible constituir procesos computacionales por medio de un ordenador.

Como lo expone Davis (2013), el término paramétrico se origina en la disciplina de las matemáticas. No se sabe quién acuñó el concepto; sin embargo, aparece en los trabajos de John Leslie (matemático) en 1821, Samuel Earnshaw (matemático) en 1839, y James Dwight Dana (geólogo y mineralogista) en 1844.

Leslie describe, en 1821, cómo entrelazar diversas variables para la descripción de las partes paramétricas que componen curvas catenarias y círculos. A lo largo de su obra maneja el término paramétrico en un sentido matemático para referirse a las restricciones generadas entre las distintas partes geométricas; si el usuario sigue las instrucciones del autor y modifica una variable que se procesa a través de funciones explícitas, afectará simultáneamente diversas partes de una figura hasta llegar a un resultado geométrico distinto. De modo similar, las obras de Dana, en 1844, ilustran el término paramétrico con indicaciones matemáticas entrelazadas con variables y parámetros que permiten la generación y descripción geométrica de prismas, cristales y minerales (Figura 1).

En la Enciclopedia Concisa de Matemáticas, Weisstein (2002, p. 2150) indica: “Las ecuaciones paramétricas expresan un conjunto de cantidades como funciones explícitas de una serie de variables independientes, conocidas como parámetros”. Dicho de otra manera, se puede comprender el parámetro como una variable que se procesa por medio de expresiones para generar modificaciones

¹ Raymond Kurzweil es un inventor estadounidense especializado en computación e inteligencia artificial.

² Intel y el logotipo de Intel son marcas comerciales de Intel Corporation o sus subsidiarias, una de las empresas líderes para el desarrollo de microprocesadores para el sector computacional.

³ Mejor conocido en inglés como Building Information Modeling (BIM).

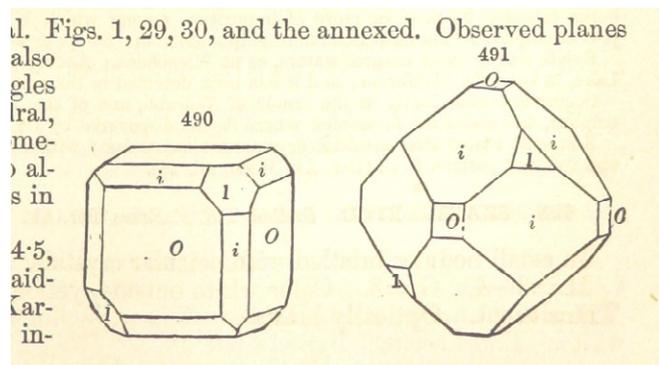


Figura 1. Extracto gráfico de la obra titulada "A system of mineralogy". Fuente: adaptado de "A system of Mineralogy" por J.D. Dana, 1868. CC BY 2.0



Figura 2. Modelo de cadena colgante para el proyecto Colonia Güell. Fuente: Adaptado de "Modelo de cadena colgante para Colonia Güell" por wallygrom, 2010. CC BY-SA 2.0

en una geometría, de tal forma que si se modifica alguna variable inicial, el resultado final cambiará.

Los orígenes del principio que alinean el pensamiento paramétrico al diseño arquitectónico pueden rastrearse en los trabajos del arquitecto español Antoni Gaudí⁴ (en 1889), quien utilizaba cadenas colgantes para proyectar y generar sus maquetas (Figura 2). En estas obras, Gaudí establece un grupo de parámetros independientes como la longitud de la cuerda, la ubicación del punto de anclaje, el peso del tiro de pájaro y diversas ubicaciones de vértice de los puntos en las cuerdas, entre otros aspectos. Hace uso de pesos estratégicamente distribuidos que cuelgan de hilos y, cuando todos los parámetros interactúan se obtienen catenarias que trabajan a tensión; asimismo, al tomar de base el principio de Robert Hook e invertir el modelo, los elementos representativos que una vez trabajaban a tensión ahora lo hacen a compresión. Por medio de este principio físico y el comportamiento paramétrico logrado en sus modelos

tridimensionales, Gaudí garantizaba la solidez estructural de modo pragmático y eficaz.

Más tarde en 1950, el arquitecto alemán Frei Otto aplica el principio paramétrico; en sus obras, además del empleo de una lógica similar a la de los modelos colgantes, resalta la experimentación a base de superficies con soluciones en jabón. Un ejemplo se presenta con el modelo desarrollado para la obra Mannheim Multihalle (Figura 3);

al igual que Gaudí, recurre al principio de modelo colgante con parámetros y constricciones que optimizan una geometría mediante componentes como los ejes rectores, la longitud de tensores y, sobre todo, la gravedad.

Sin embargo, su experimentación implementa soluciones de agua y jabón para generar geometrías, con el fin de encontrar superficies mínimas para cerrar determinadas formas (Figura 4).

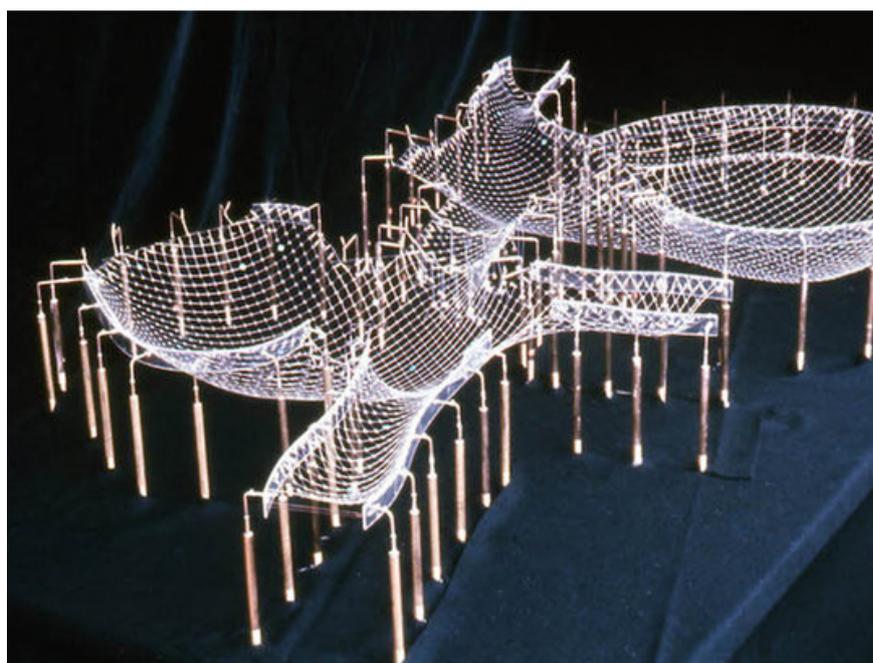


Figura 3. Modelo a escala de Mannheim Multihalle. Fuente: Adaptado de "Frei Otto y el desarrollo de superficies", Liddell, 2015. (https://www.researchgate.net/publication/283164806_Frei_Otto_and_the_Development_of_Gridshells). CC BY-NC-ND 4.0

⁴ Aunque las obras de Gaudí se alinean al pensamiento paramétrico, se desconoce si el arquitecto era consciente del término.

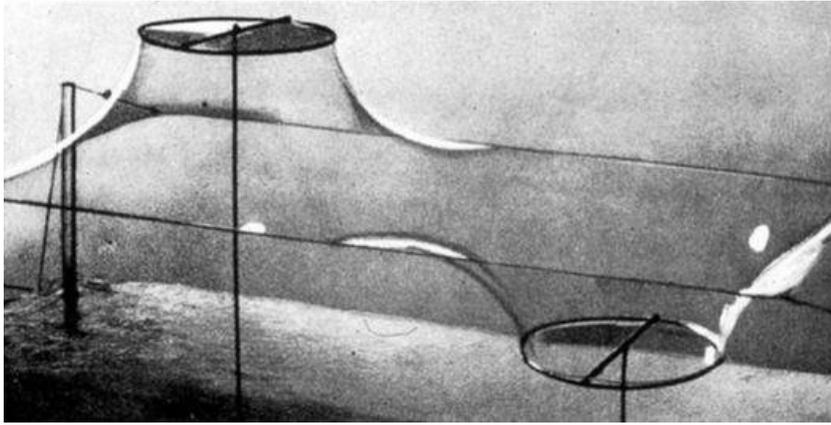


Figura 4. Modelo experimental a base de solución de agua con jabón Fuente: Adaptado de "Búsqueda de forma y construcción robótica basada en la lógica de proyección arquitectónica", Zexin y Mei, 2020. CC BY 3.0

[...] Otto estaba especializado en estructuras ligeras de tracción y membranas, las formas se derivaron de una serie de experimentos con pompas de jabón que utilizaron la tensión superficial del líquido para encontrar la superficie mínima para cubrir una forma cerrada. (Zexin y Mei, 2017, p.1)

Del mismo modo, Zexin y Mei indican:

El término búsqueda de forma fue introducido por primera vez por el arquitecto alemán Frei Otto; debido a su contribución en el uso de modelos físicos como motor de diseño y herramientas de búsqueda de formas, Otto es reconocido como un pionero del diseño paramétrico en arquitectura. (2017:1)

Otto presenta el concepto de búsqueda de forma —o mejor conocido en inglés como *form finding*—, que define un proceso físico en el que usuario no delimita la forma, sino que esta se "ordena" naturalmente en función de las restricciones y leyes de la física. Cuando un cuerpo geométrico generado con alfileres, alambres, hilos u otros elementos que estable-

cen bases y ejes rectores iniciales se sumerge en una solución de agua y jabón, y posteriormente se saca de ella, el fluido describe la trayectoria mínima que conecta todas las aristas y puntos por medio de una superficie por las fuerzas de tensión. Mientras la búsqueda de forma se ilustra con ejemplos de naturaleza geométrica, el principio puede integrar también contextos sociales, ambientales, culturales, funcionales u otros para obtener soluciones a problemas más complejos.

Desde la década de los 40, el arquitecto italiano Luigi Moretti, cuyo perfil incluía matemáticas aplicadas, desarrolló y publicó distintos estudios expresando el término *Architettura Parametrica*, que después dispuso mediante un equipo computacional en 1960. Como describe *Una 'otra' estética: la arquitectura paramétrica de Moretti*: "[...] en un intento por distanciarse de la estética de la arquitectura moderna racionalista italiana y su asociación con el régimen fascista, Moretti desarrolló un método matemático y científico para producir una forma arquitectónica de geometría sobria que denominó *arquitectura paramétrica*" (Imperiale, 2018, p. 72).

Moretti desarrolló estudios y experimentos con el fin de establecer relaciones entre la dimensión del diseño arquitectónico y las ecuaciones paramétricas entre 1940 y 1942. En estos años, los procesos computacionales todavía no eran la norma, pero cuando nacieron los primeros equipos digitales, Moretti integró sus hallazgos en el diseño de un estadio experimental. Aquí se constituyen diecinueve parámetros con aspectos como ángulos de visión y costo económico del hormigón; el proyecto se generó por medio de un ordenador IBM 610⁵. Las distintas versiones del estadio paramétrico se presentaron como parte de la exposición de *Arquitectura Paramétrica* en la Duodécima Trienal de Milán en 1960.

En *Arquitectura en la era digital: diseño y fabricación*, Kolarevic (2003) expresa que la parametría permite generar una poderosa concepción de la forma arquitectónica por medio de un proceso variable, posibilitando a los diseñadores crear una infinidad de manifestaciones geométricas de un mismo esquema articulado por variables dimensionales, relacionales u operativas. Schumacher (2008) —arquitecto principal del despacho de Zaha Hadid Architects— manifiesta el término *parametricismo* como la explotación creativa de sistemas de diseño paramétrico, cuyo objetivo es articular de manera organizada procesos cada vez más complejos, donde las formas son el resultado de una suma de fuerzas del contexto. Por su parte, Lars Hesselgren (Stocking, 2009) argumenta que la finalidad del diseño generativo no es erigir un edificio sino construir el sistema que lo genera. Por último Kowalski

⁵ El IBM 610, uno de los primeros equipos personales, se lanzó en 1957.

PRINCIPIOS DEL DISEÑO PARAMÉTRICO



Figura 5. Principios del diseño paramétrico. Estos principios son una base abierta para comprender las directrices del diseño paramétrico, mas se redefinirán en función de la evolución del tema. Fuente: elaboración propia.

(2016) —exjefe de tecnología de AutoDesk®— afirma que consiste en indicar a la computadora parámetros, reglas o criterios que cierto diseño debe cumplir; en respuesta, la computadora ofrece millones de soluciones. Posteriormente, el diseñador selecciona la opción que considera más adecuada y fabrica el resultado o, en su debido caso, procede a recalibrar el diseño según su criterio.

Es un proceso iterativo que utiliza algoritmos avanzados para encontrar la mejor solución.

Ambos conceptos comparten una directriz: el desarrollo de un algoritmo al cual se ligan parámetros y se aplican constricciones. En el diseño paramétrico, quien genera las iteraciones de un proyecto es el usuario. Este modifica las variables para producir y evaluar los distintos resultados (Figura 5).

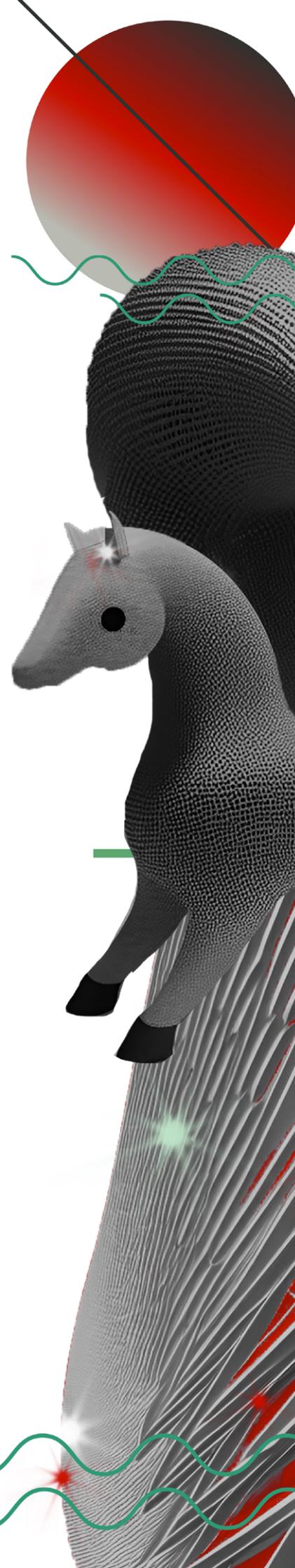
DISEÑOS PARAMÉTRICO Y GENERATIVO

Archistar⁶ (s. f.) diferencia los conceptos de la siguiente manera:

El diseño paramétrico es un proceso interactivo. Permite crear diseños basados en la entrada de parámetros como materiales, restricciones del sitio e incluso problemas ambientales. [...] El diseño generativo se basa en computadoras e inteligencia artificial.

En el diseño generativo, el diseñador guía a la computadora con objetivos cuantificables para que experimente y modifique las variables ligadas al proyecto mediante la programación e integración de un algoritmo generativo. De esta forma, la computadora itera el diseño y presenta los resultados más próximos a los objetivos. El diseñador finaliza el proceso al elegir los resultados más adecuados que intervienen en el diseño, generalmente aspectos humanísticos como factores estéticos, sociales, culturales, etc. (Figura 6).

⁶ Archistar es una empresa enfocada en la innovación de tecnologías generativas aplicadas al sector inmobiliario.



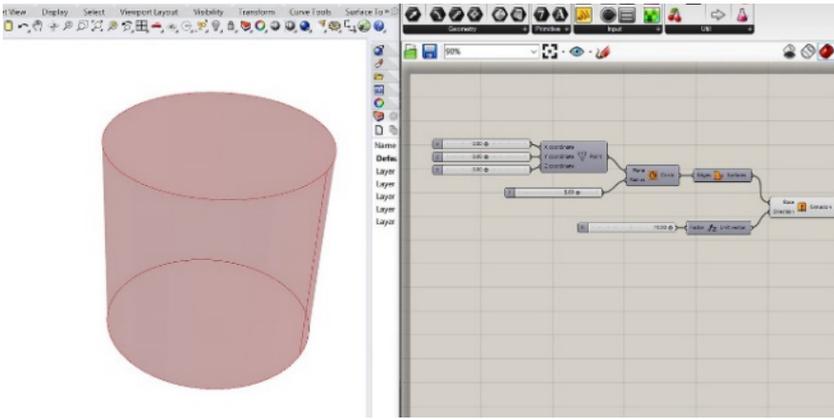


Figura 6. Diseño paramétrico. Ejemplo de algoritmo básico desarrollado con Grasshopper para el diseño de un cilindro. Se puede interactuar de manera libre con los parámetros (Radio y Altura) para generar iteraciones en tiempo real. Fuente: elaboración propia.

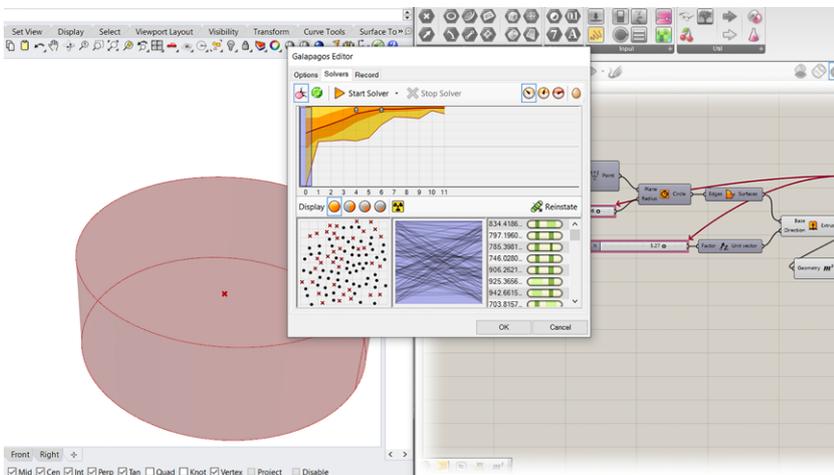


Figura 7. Diseño generativo. Ejemplo del mismo algoritmo, pero con la adición de Galapagos, componente generativo vinculado a los parámetros del cilindro que encuentra todas las soluciones que se acercan a los 825 m^3 . Fuente: elaboración propia.

ROL DEL DISEÑADOR

Informar Formar Realizar (originalmente en inglés denominado *Inform Form Perform*) es una investigación que explora las técnicas generativas aplicadas a un proyecto de diseño e indica:

Las computadoras pueden tomar decisiones basadas en comparaciones cuantitativas y análisis con mayor precisión en menos tiempo que sus contrapartes humanas. En lugar de reemplazar a los diseñadores humanos, el proceso permite una discusión entre computa-

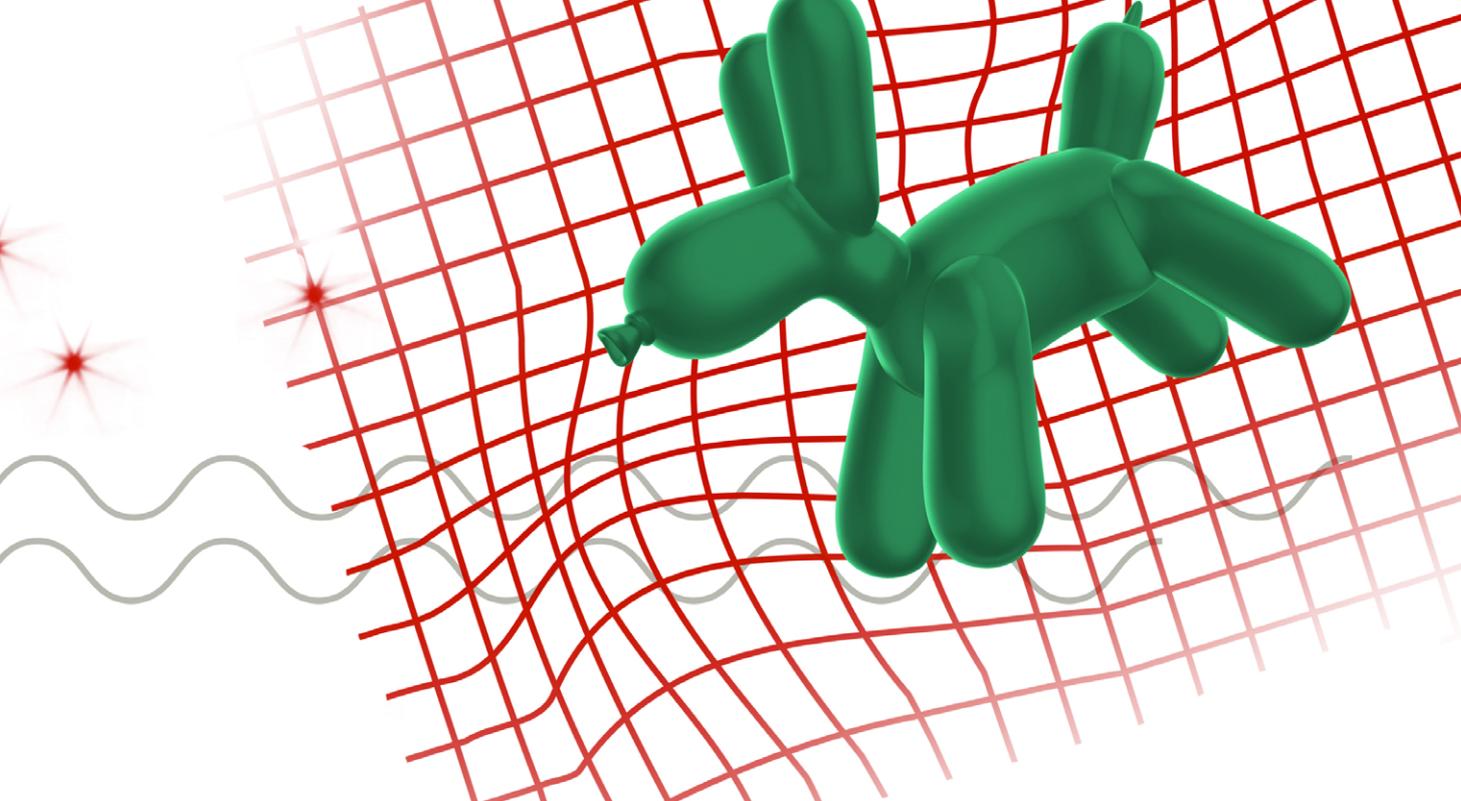
dora y arquitecto donde una propone una solución de diseño y el otro la ajusta, trabajando de un lado a otro hasta que ambos estén satisfechos con el resultado formal y funcional. (Holland, 2011, p. 18)

Holland presenta la perspectiva sobre el modelo de trabajo que adoptan los humanos, en el que la computadora y el diseñador, más que segregarse o adoptar fronteras, se distribuyen las tareas en función de su naturaleza; se aprovecha la capacidad del ordenador para resolver tareas funcionales en menos tiempo, como

cálculos de espacios, resolución de geometrías, criterios visuales, energéticos, documentación, costos y presupuestos. El diseñador destina su enfoque a los aspectos humanísticos: criterios abstractos, estéticos, sociales, filosóficos, éticos y otros juicios incuantificables que requieren de una perspectiva sensible. En ocasiones, se puede percibir un temor de "ser reemplazados por la inteligencia artificial y la automatización", sin embargo, es más enriquecedor comprender un cambio de roles íntegro que propicie una distribución adecuada de procesos según las habilidades del ordenador y el humano.

Las herramientas emergentes del progreso tecnológico repercuten y transforman en paralelo las temáticas abordadas y exigencias de aprendizaje de los arquitectos y diseñadores del futuro en las instituciones educativas. La publicación *Temas Tácitos en la Educación Arquitectónica* (UIAE, 2014) sostiene que, si la educación de los diseñadores de hoy se enfoca en un conjunto de procedimientos, el ritmo con el que el mundo evoluciona los dejaría atrás; más bien, se deben valorar y explorar las nuevas tecnologías a medida que se desarrollan (Lawson, 2008 citado en Chokhachian, 2014, p. 136). De modo adicional, la publicación *Transacciones mundiales sobre educación en ingeniería y tecnología* reafirma que la educación arquitectónica ha cambiado debido a la aparición de nuevas tecnologías: la complejidad en la enseñanza del diseño arquitectónico ha evolucionado en paralelo con las herramientas disponibles (Radziszewski & Cudzik, 2019, p. 448).

Además de la modificación de roles, la transformación del contexto laboral con el tiempo exige a las generaciones recientes de



diseñadores mayor habilidad y flexibilidad en el uso de nuevos instrumentos; el efecto es una transformación que también impacta las temáticas abordadas en los sistemas educativos para abarcar los requisitos del entorno profesional.

EJEMPLOS ANÁLOGOS

El proyecto de innovación docente “*Técnicas de diseño paramétrico*” ofrece un cambio de paradigma por medio de la integración de técnicas y herramientas digitales. Se dieron ponencias teóricas sobre fundamentos matemáticos, geométricos, físicos y se presentaron distintos conceptos clave; después se llevó a cabo la capacitación en el manejo de las herramientas digitales Rhinoceros, Grasshopper, Geco® y Ecotect®, las últimas dos para el trabajo de aspectos ambientales. Continuó con la integración de lo aprendido en los talleres prácticos con el objetivo de generar propuestas libres, promoviendo la hibridación entre distintas disciplinas. La publicación finaliza con la

exposición de proyectos junto a la documentación de los resultados obtenidos de la retroalimentación proporcionada a los participantes sobre su experiencia (Universidad de Granada, 2012).

Otro ejemplo se observa en el plan de estudios de 2015 del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Monterrey. La materia llamada *Elementos de la Arquitectura* tiene el objetivo de permitir a los alumnos comprender los principios de la composición arquitectónica para la resolución de necesidades funcionales y de criterio estructural (Universidad de Monterrey, 2015). A partir de aquí, se aprecian los ejemplos empíricos generados por alumnos de la UDEM denominados “*Bichos*”: una familia de pabellones paramétricos fabricados con la orientación de los docentes. Como se describe en *Monterrey: estudiantes de primer año realizan pabellón ‘Bicho3’ a base de experimentación paramétrica*, este trabajo forma parte de una serie de experimentaciones arquitectónicas que iniciaron en el 2013, cuyo objetivo fue fomentar el uso de las herramientas paramé-

tricas, generativas y de fabricación digital desde los primeros años de la carrera. Los comportamientos geométricos, las piezas, las adaptaciones ejecutivas, la respectiva enumeración de cada una, así como su disposición en láminas de corte se generaron a través de la programación del algoritmo para el proyecto (Cruz, 2015). Se ofrece una experimentación con la integración y el manejo de herramientas paramétricas y generativas íntegras dentro de una exploración formal compleja, se favorece el diseño de sistemas que generarán un resultado más que el producto en sí y se presenta a los alumnos una forma de trabajo que abre nuevas oportunidades en el diseño de proyectos.

Asimismo, la iniciativa en la asignatura de Arquitectura Paramétrica y Fabricación Digital de la *Escuela de Arquitectura de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU)* pretende introducir al alumno en los procesos del diseño paramétrico y fabricación digital, entre otros criterios fundamentales (UPV, 2021). Un producto pragmático es el pabellón paramétrico “*Armadillo*”,

en el cual los alumnos generan, mediante el uso de cartón en tamaño estándar, un espacio de trabajo íntimo, pero limitado a las dimensiones de la máquina de corte láser. El diseño consta de 741 piezas diferentes numeradas para facilitar el montaje; mide 7 metros de largo por 4.5 de ancho y 2.2 de alto; el corte láser se realiza en 50 horas y el montaje en 2 (Franco, 2015).

Ambos ejemplos demuestran que, para el diseño, la fabricación y el montaje de las piezas que conforman los proyectos se implementan sistemas y algoritmos con el manejo de los instrumentos paramétricos, con el fin de especificar el proceso para las iteraciones más que alcanzar el resultado en sí. Entre las distintas directrices que se alinean en los ejemplos, resalta la exploración de posibilidades geométricas y de diseño lograda con herramientas paramétricas, generativas y las oportunidades que ofrece la fabricación digital. En última instancia, la finalidad es propiciar e incentivar que los alumnos exploren formalmente tanto nuevas técnicas como herramientas y que las incorporen al vocabulario del diseño.

IMPLEMENTACIÓN EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

El *Diplomado en diseño y composición paramétrica*, ofertado por el programa de Educación Continua por parte de la UAQ, tiene la pretensión de activar los instrumentos paramétricos en el ámbito educativo, de modo que los estudiantes establezcan parámetros experimentales que faciliten la aproximación metodológica y la reproducibilidad a largo plazo, materializar los productos y ponerlos a prueba, y, finalmente, obtener retroalimentación de los participantes.

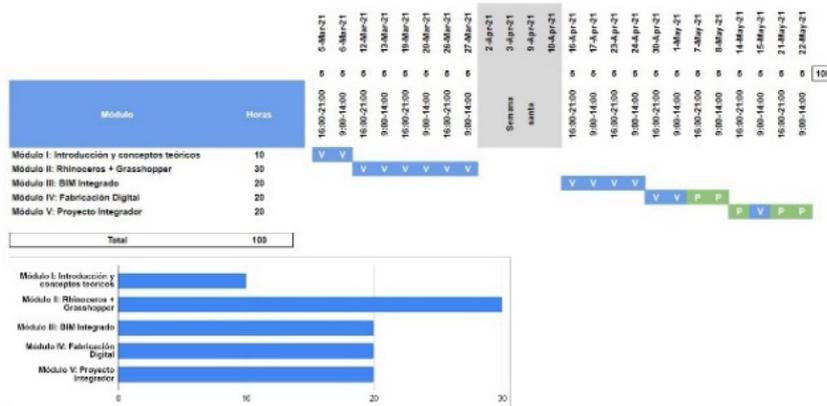


Figura 8. Distribución de tiempos. El programa del diplomado se divide en 5 módulos que tratan la introducción al tema y proyecto, herramientas de modelado y programación paramétrica, fabricación digital, y finalmente la materialización de un proyecto final.

Fuente: elaboración propia.

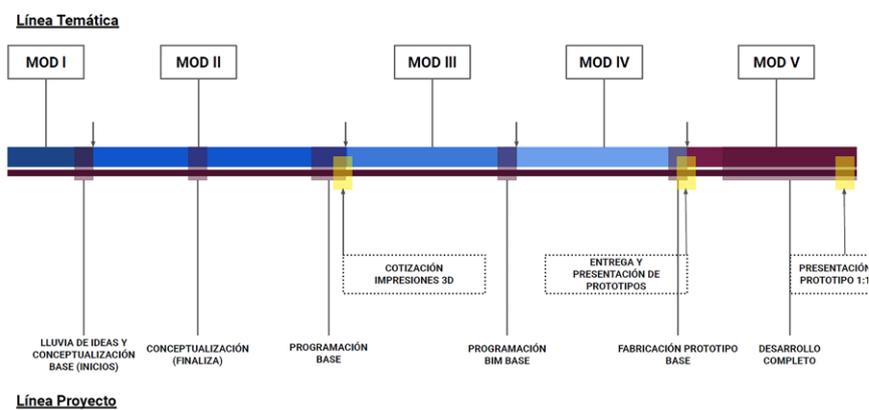


Figura 9. Organización de dinámica. Se consideraron estrategias e hitos de seguimiento continuo en el desarrollo de los proyectos paramétricos para permitir una materialización más fluida en el último módulo.

Fuente: elaboración propia.

En concreto, el diplomado se compuso de 5 módulos que suman 100 horas de formación. El primero, denominado "Introducción y conceptos teóricos", introdujo a los participantes en los conceptos teóricos de los diseños paramétrico y generativo y, posteriormente, abordó los planteamientos iniciales para los proyectos de los equipo de trabajo. El segundo módulo, denominado como "Rhinoceros + Grasshopper", se destinó capacitar a los alumnos en el manejo

de los instrumentos paramétricos y finalmente se dio un seguimiento adicional al proyecto integrador. El tercer módulo potencializó las herramientas paramétricas con la integración de la metodología de trabajo BIM apoyada de la herramienta ArchiCAD. El cuarto revisó los conceptos generales sobre la fabricación digital con un enfoque en técnicas de impresión 3D para la materialización de prototipos a escala de los proyectos. Por último, el módulo de "Proyecto Integrador" se dedicó a la com-

probación, evaluación y materialización a escala real de los mejores prototipos (Figuras 19 y 20).

Una vez concluido el objetivo de materializar los prototipos paramétricos a escala (1:1) y tras una espera de 4 a 5 meses, se logró recabar una retroalimentación de 28 de los 30 participantes. Los datos obtenidos brindaron perspectivas cuantitativas y cualitativas sobre los parámetros adecuados, junto a las áreas de oportunidad, para la optimización continua de las metodologías paramétricas. Antes de cursar el diplomado, el 57.1 % de los alumnos había empleado entre 4 y 6 herramientas digitales, mientras que el 25 % conocían más de 7, y el 17.9 % restante sabían de solo 3 o menos.

El 71.4 % de los participantes ya tenía noción de alguna técnica de programación, puesto que la Licenciatura en Arquitectura de la UAQ procura un programa educativo balanceado, donde los alumnos tienen una práctica constante de diversas herramientas digitales; por ejemplo, se aborda brevemente la programación visual Grasshopper. Esto, además de atraer a los participantes al diplomado, facilitó su aprendizaje. El 92.8 % mostró una inclinación por el aprendizaje de nuevos instrumentos digitales, pues consideró que brindan oportunidades para el desarrollo de proyectos más complejos. El interés de los participantes es clave, ya que suavizó la curva de aprendizaje e incentivó a los participantes a expandir extracurricularmente el conocimiento adquirido y potencializar la calidad de sus propuestas.

El 78.6 % de los participantes asoció el diseño paramétrico a la generación de geometrías orgánicas o complejas; 67.9 %, al diseño



Figura 10. Equipo BIO-SA. El proyecto de mobiliario paramétrico se desarrolló con técnicas de optimización topológica y fabricación digital. Fuente: elaboración propia.

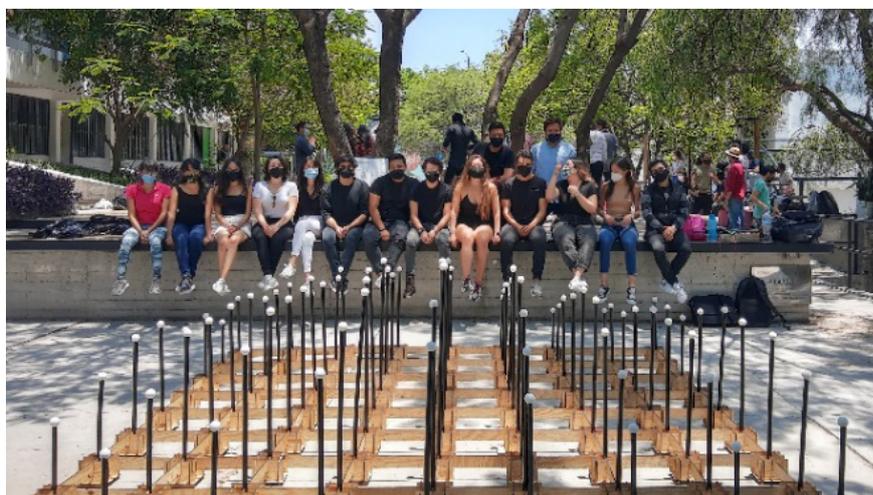


Figura 11. Equipo ANTI-CUBIERTA. El proyecto paramétrico de contemplación se moduló e incluyó una instalación de iluminación nocturna. Fuente: elaboración propia.

de un proceso, y el 42.9 %, al de un sistema complejo (Figura 17). Según sus orígenes y definiciones, los diseños paramétrico y generativo se usan para crear procesos cuyos resultados pueden o no ser geometrías orgánicas o complejas. No obstante, la mayoría los vinculó principalmente con naturalezas geométricas. Es necesario subrayar que los aspectos paramétrico y generativo del sistema están por encima del geométrico. La asociación de estas metodologías de diseño con geometrías formales complejas puede considerarse un

éxito en la formación del modelo de pensamiento paramétrico siempre que no se pierda de vista el enfoque sistemático. Los participantes concordaron en que las herramientas paramétricas promueven la exploración de geometrías complejas y pueden ser una ventaja en el sector profesional, ya que disminuyen las restricciones formales e incrementan la diversidad proyectual al ampliar el vocabulario de diseño.

El 60.7 % coincidió en que la resolución formal de las geometrías

de referencia es sencilla; 35.7 % mantuvo una perspectiva neutral; 67.9 % indicó que su fabricación es factible, y un 21.4 % mantuvo una postura neutral. Por último, el 100 % adoptó una postura positiva respecto a la eventualidad de implementación de las técnicas e instrumentos paramétricos a futuro para el desarrollo de algún proyecto. Adicionalmente, el 60.7 % de los participantes afirmó haber indagado otras técnicas paramétricas por iniciativa propia y el 21.4 % —6 casos— reportó una aplicación real en el diseño de un proyecto profesional en los 4.5 meses posteriores al diplomado.

Las respuestas sobre la experiencia en el diplomado fueron en general positivas. Sin embargo, se detectaron áreas de oportunidad, como la distribución del tiempo destinado a los módulos, porque, por ejemplo, la materialización de un prototipo 1:1 implica un esfuerzo y lapso significativos. Por otra parte, debe evitarse la saturación en el contenido temático de los módulos. Otra mejora necesaria es aclarar la previa disposición de recursos económicos para el proyecto seleccionado. Finalmente, hay que ceñir los parámetros al plantear programas: la libertad proyectual brindada a los alumnos ocasionó que algunas de sus propuestas presentaran magnitudes exageradas, con materiales de alto costo y demasiado duraderos. Todo esto limitó la elección de prototipos a fabricar en un periodo de 2 semanas.

CONCLUSIÓN

Las herramientas paramétricas y generativas presentan un potencial que tanto diseñadores como arquitectos deben explorar, adoptar e implementar en su labor diaria.

Es de vital importancia comprender que adoptar dichos instrumentos implica una transformación tanto de roles como de compromisos para los diseñadores. La aproximación metodológica tiene la responsabilidad de sensibilizar a los participantes a la exploración de vocablos geométricos más complejos a los habituales y ligar nuevas técnicas de trabajo que abran oportunidades proyectuales y de optimización de procesos. La implementación experimental en la UAQ deja un primer antecedente que cumple satisfactoriamente los objetivos establecidos en la aproximación metodológica; será la continua repetición, retroalimentación y mejora de las estrategias de implementación lo que cambiará significativamente el aprendizaje de los instrumentos paramétricos. Henry Ford mencionó en una ocasión: “El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos”.

REFERENCIAS

Archistar (s. f.). *Archistar*. Obtenido de Parametric Design vs Generative Design – The Pros and Cons: <https://archistar.ai/blog/parametric-design-vs-generative-design-the-pros-and-cons/>

Chokhachian, A. (2014). A Framework for Exploring the Role of Parametric. *Unspoken Issues in Architectural Education UIAE2014* (p. 136). North Cyprus: ResearchGate.

Cruz, D. (20 de mayo de 2015). *ArchDaily México*. Obtenido de Monterrey: estudiantes de primer año realizan pabellón ‘Bicho3’ a base de experimentación paramétrica: <https://www.archdaily.mx/mx/766095/experimentacion-parametrica-bicho3>

Davis, D. (06 de agosto de 2013). *danieldavis*. Obtenido de

A History of Parametric: <https://www.danieldavis.com/a-history-of-parametric/>

Franco, J. T. (12 de mayo de 2015). *ArchDaily*. Obtenido de País Vasco: estudiantes construyen pabellón de cartón en base al diseño paramétrico: <https://www.archdaily.mx/mx/766718/pais-vasco-estudiantes-construyen-pabellon-de-carton-en-base-al-diseno-parametrico>

Gutiérrez, A. F. (junio de 2016). *Fenómeno arquitectónico, proceso de diseño y complejidad humana: propuesta de re-conceptualización*. México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de https://repositorio.unam.mx/contenidos?c=plb1oP&v=0&d=false&t=search_0&i=1&as=0&q=humanidades

Holland, N. (14 de junio de 2011). *Theses from the Architecture Program. Inform Form Perform*, 18. Lincoln, Nebraska, Estados Unidos: University of Nebraska-Lincoln.

Imperiale, A. (2018). *Academia*. Obtenido de An ‘Other’ Aesthetic: Moretti’s Parametric Architecture: https://www.academia.edu/37892334/An_Other_Aesthetic_Morettis_Parametric_Architecture

Kolarevic, B. (2003). Digital morphogenesis. En B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing* (p. 25). Nueva York, London: Spon Press.

Kowalski, J. (21 de diciembre de 2016). *¿Sabes lo que es el Diseño Generativo?* Autodesk Latam. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=DkeoenFfewh8>

Kurzweil, R. (2001). *The Law of Accelerating Returns*. Obtenido de kurzweilai: <https://www.kurzweilai.net/the-law-of-accelerating-returns>

- Moore, G. E. (2006). Progress in digital integrated electronics. En D. C. Brock, *Understanding Moore's Law: Four Decades of Innovation* (pág. 61). Philadelphia, Pennsylvania: Chemical Heritage Foundation. Obtenido de https://www.sciencehistory.org/sites/default/files/understanding_moores_law.pdf
- Radziszewski, K., & Cudzik, J. (2019). Parametric design in architectural education. *World Transactions on Engineering and Technology Education* 17(4), 448.
- Schumacher, P. (2008). *Parametricism as Style - Parametricist Manifesto*. Londres. Obtenido de <http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>
- Stocking, A. W. (14 de octubre de 2009). *Cadalyst*. Obtenido de *Generative Design Is Changing the Face of Architecture*: <https://www.cadalyst.com/cad/building-design/generative-design-is-changing-face-architecture-12948>
- Universidad de Granada (29 de octubre de 2012). *ISSUU*. Obtenido de *Técnicas de Diseño Paramétrico*: https://issuu.com/ooopart/docs/tdp1_publicacion
- Universidad de Monterrey (2015). *UDEM*. Obtenido de *Plan de Estudios 2015*: https://crgs.udem.edu.mx/sites/default/files/2018-02/mapa_arq_2015.pdf
- Universidad del País Vasco (2021). *Plan de estudio*. Obtenido de *Arquitectura Paramétrica y Fabricación Digital*: https://www.ehu.eus/es/grado-fundamentos-arquitectura/creditos-y-asignaturas?p_redirect=consultaAsignatura&p_cod_proceso=egr&p_anyo_acad=20200&p_ciclo=X&p_curso=5&p_cod_asignatura=28107
- Weisstein, E. W. (2002). Parametric Equations. En E. W. Weisstein, *CRC Concise Encyclopedia of Mathematics* (p. 2150). Boca Raton, London, New York, Washington, D.C: Chapman and Hall/CRC.
- Zexin, S., & Mei, H. (2017). Robotic form-finding and construction based on the architectural projection logic. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 216 (1):012058.

REFERENCIAS GRÁFICAS

- mechanicalcurator. (2013). Extracto gráfico de la obra titulada "A system of mineralogy" [Fotografía]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/106138792@N02/10445618595>
- wallygrom. (2010). Modelo de cadena colgante para el proyecto Colonia Güell [Fotografía]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/33037982@N04/5232195670>
- Ian Liddell. (2015). Modelo a escala de Mannheim Multihalle [Fotografía]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/283164806_Frei_Otto_and_the_Development_of_Gridshells
- Zexin y Mei. (2020). Modelo experimental a base de solución de agua con jabón [Fotografía]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/318103333_Robotic_Form-Finding_and_Construction_Based_on_the_Architectural_Projection_Logic