

DYNAMO, GRASSHOPPER Y SUS PLUGINS: OPINIÓN DEL USUARIO, USABILIDAD Y DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO

DYNAMO, GRASSHOPPER AND THEIR PLUGINS: USER OPINION, USABILITY AND KNOWLEDGE DISSEMINATION

Daniel Zimmermann Machado¹

Andréa Quadrado Mussi²

Resumen

Las aplicaciones de diseño paramétrico tienen aplicaciones específicas para diferentes perfiles de usuario, abarcando el modelado de geometrías complejas, el análisis de edificios y la optimización de rutinas. Teniendo en cuenta las dos aplicaciones principales de la programación visual, esta investigación busca ayudar al diseñador a tomar la decisión de elegir entre el software Dynamo (Autodesk) y Grasshopper (Robert McNeel) a partir de una encuesta de la realidad en la usabilidad de estas aplicaciones. En primer lugar, se realizó una revisión sistemática de la bibliografía a partir del análisis de los artículos en los que se utilizan las aplicaciones, donde se encontró que el 85,25% de estos usuarios hacen uso de Grasshopper, mientras que el 13,1% hacen uso de Dynamo, y el 1,6% hacen uso de ambas herramientas. A continuación, se realizó una investigación cualitativa en los foros de discusión de las mismas aplicaciones, donde se obtuvieron opiniones y experiencias de la comunidad. Se ha demostrado que Grasshopper es capaz de procesar geometrías más complejas con una gran cantidad de complementos de modelado y análisis de proyectos. Dynamo, por otro lado, ha demostrado estar mejor integrado con los sistemas BIM, además de tener un amplio uso en la optimización de procesos de proyectos y la generación de documentación.

Palabras llave: diseño paramétrico; arquitectura; Dynamo; Grasshopper.

Abstract

Parametric design applications have specific applications for different user profiles, including complex geometry modeling, building analysis, and optimization routines. Considering the two main visual programming applications, this research aims to help the designer in the decision-making process between Dynamo (Autodesk), and Grasshopper (Robert McNeel) from a survey of the reality of the usability of these applications. Firstly, a systematic review of the bibliography was made from the analysis of articles that make use of the applications, where it was obtained that 85.25% of these users make use of Grasshopper, while 13.1% make use of Dynamo, and 1.6% make use of both tools. Next, qualitative research was done in the discussion forums of the same applications, where opinions and experiences of the community were obtained. Grasshopper proved to be capable of processing more complex geometries with a large number of modeling and design analysis plugins. Dynamo proved to be better integrated with BIM systems, and is widely used for optimizing design processes and generating documentation.

Keywords: parametric design; architecture; Dynamo; Grasshopper.

¹ Estudiante de maestría del Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo de la Faculdade Atitus, Campus Passo Fundo, RS, Brasil. 1108587@atitus.edu.br

² Profesor del Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo de la Faculdade Atitus, Campus Passo Fundo, RS, Brasil. andrea.mussi@atitus.edu.br; ORCID: 0000-0003-0391-2710.

1. Introducción

A medida que los proyectos arquitectónicos adquieren más y más aspectos únicos y con maquetación individualizada y composiciones de forma, surge la necesidad de adaptación a tecnologías y metodologías innovadoras por parte de los diseñadores. A partir de esto, las herramientas de diseño paramétrico se han expandido más allá de las empresas de desarrollo de software y diseño de productos, conquistando gradualmente espacio también en las oficinas de proyectos de construcción civil. Estas aplicaciones han presentado, entre sus soluciones, optimización de procesos repetitivos y manuales, modelado en estructuras complejas e irregulares, análisis eficiente del rendimiento energético, además de permitir una mayor exclusividad en el diseño de estructuras y fachadas de edificios medianos y grandes. Zardo (2018) sugiere que los métodos de diseño actuales están muy fragmentados debido a la falta de estandarización entre las empresas y sus proyectos, como resultado de la ausencia de consenso o estandarización en diversos aspectos del proceso de diseño a nivel de la industria. Estos aspectos incluyen la participación de diferentes agentes, las herramientas utilizadas, la organización del proceso por etapas y los niveles de integración tecnológica.

Incluso ofreciendo adaptabilidad a los métodos individuales de cada diseñador, esta sigue siendo una herramienta poco adoptada o incluso desconocida por muchos estudios de arquitectura y empresas constructoras, dada la complejidad algorítmica y la larga curva de aprendizaje requerida, lo que requiere inversión de tiempo y predisposición para aprender un nuevo lenguaje de rutinas. Las herramientas de diseño paramétrico de la programación visual se han desarrollado para satisfacer muchas necesidades previamente inexistentes de los profesionales del diseño, ya que la reciente aparición de proyectos de arquitectura e ingeniería de mayor complejidad y de estructuras orgánicas e irregulares ha llegado a requerir un conjunto más completo de herramientas de modelado. Estas herramientas permiten realizar estudios aún en las etapas iniciales del proyecto, como análisis de estudios de viabilidad de diseño arquitectónico a partir de relaciones numéricas y modelado 3D, y también de estudios más profundos, como el análisis del rendimiento térmico, acústico y luminoso de un edificio, ayudando en la toma de decisiones en la elección de materiales de construcción.

Una de las dificultades, según Hudson (2010), es que el diseñador suele centrarse en el resultado final del modelado, y no necesariamente en cómo se puede construir y modificar el modelo, y esto puede ser una barrera entre un diseñador y un programador. A pesar de estas dificultades, Davis (2013) argumenta que algunos de los desafíos entre los ingenieros desarrolladores y los diseñadores paramétricos son similares, ya que ambos vienen a trabajar con algoritmos para encontrar soluciones a menudo en plazos ajustados. Desde este punto de vista, el diseño paramétrico está más asociado con la programación que con el diseño convencional. Ante esta necesidad de enfrentarse a las barreras del conocimiento tecnológico, el diseñador a veces termina limitándose al software de modelado tradicional. Un profesional que desarrolla un proyecto a partir de un software CAD (Computer Aided Design) convencional basado en el dibujo "polígono a polígono", es decir, con la construcción de la forma directamente a través del dibujo de polígonos y prismas, no suele dejar rastros del proceso de desarrollo del modelo, dado que el foco de este es solo el aspecto visual final (OXMAN, 2006). Woodbury (2010) señala que en este modelado poligonal solo se trabaja con valores reales, y no con una relación de valores entre los componentes del modelo. En un sistema BIM (Building Information Modeling) ya es posible trabajar con un sistema híbrido entre el modelado de parámetros y el modelado poligonal, pero aún con limitaciones algorítmicas establecidas por el desarrollador del software. Finalmente, en el modelado paramétrico a través de la programación visual, su estructura lógica es de código abierto y esto puede ser identificado en

detalle por el usuario, y esto permite la inserción de datos de manera más flexible en comparación con las modalidades de modelado 3D más tradicionales mencionadas anteriormente. Hernández (2006) explica que se pueden crear "procedimientos de dibujo", donde una vez que se planifica un modelo, se dejan instrucciones para que el modelo pueda ser reutilizado para el punto de partida de nuevos proyectos y geometrías con solo cambios puntuales en su estructura. Para ello, los procedimientos incluyen la creación de parámetros "parentales", que posteriormente permitirán la inserción, revisión y reajuste de valores fundamentales al inicio de la rutina, y esto generará automáticamente la actualización de las geometrías y coordenadas de todos los elementos "hijos".

Para un buen diseño de un modelo de estas características es necesaria una combinación entre: flujo de datos; identificación clara de los grupos de elementos creados; Solución de problemas de la partición en subproblemas ("Divide-and-conquer"); Hacer uso de la misma función para resolver múltiples problemas ("Abstraction"); Visualización 3D y matemáticas; pensamiento algorítmico; estructuras topológicas y; Geometrías asociativas (WOODBURY, 2010; OXMAN, 2006).

La función del diseñador paramétrico, según Woodbury (2010), ha sido más cercana a la del programador de software "End-User", donde el avance de la complejidad de los sistemas por parte del desarrollador requiere una mayor capacidad profesional también del usuario modelador. El programador también tiene que estar actualizado a la rutina de trabajo del diseñador paramétrico, así como atento a sus dificultades y progresos, mostrándose capaz de resolver procesos repetitivos e inusuales en la rutina del cliente final. Una de las estrategias, según Woodbury (2010), para que el software presente una buena trabajabilidad manteniendo un menor grado de dificultad a lo largo del avance del proyecto por parte del profesional, es mantener el lenguaje de programación visual presente en la interfaz de la aplicación en las funciones de los pasos más básicos a los más complejos, de modo que el usuario permanezca acostumbrado al sistema desde el inicio de un modelado simple hasta los sistemas de automatización más complejos, y también que estas funciones se pueden utilizar de forma independiente en todas las etapas. De lo contrario, al tener la experiencia de trabajar en las tareas iniciales en una interfaz de lenguaje simplificada, pasar a tareas más profundas puede convertirse en una barrera y frustrar la progresión del usuario.

Woodbury (2010) también aclara que los programas de diseño paramétrico deben tener herramientas y comandos con nombres claros y objetivos, que se refieran a sus funciones y con nomenclaturas familiares para el usuario novato. Asimismo, a lo largo del uso de la aplicación, el usuario también debe tener claridad a la hora de identificar cada elemento insertado por él en el modelo, dividiendo la estructura del diseño en partes y definiendo así una jerarquía clara de procesos, lo que permite generar interacciones más simples y aun así agregar más "nodos" y elementos al modelo más fácilmente.

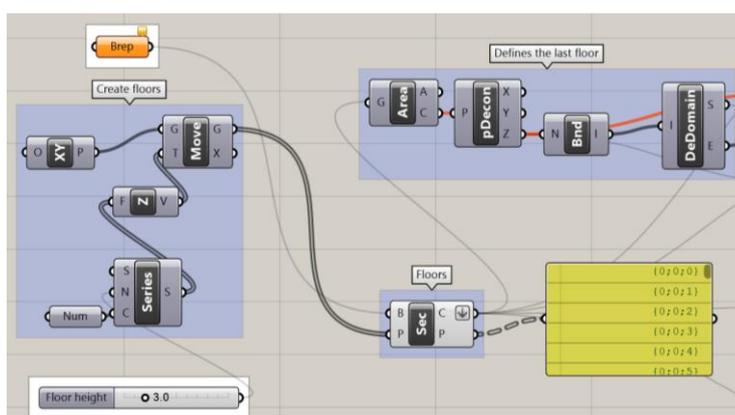
Para Aish et al. (2017), entre los objetivos de los desarrolladores de aplicaciones de diseño paramétrico también debe haber estudiantes, para que puedan desarrollar sus habilidades y capacidades de diseño paramétrico aún en el entorno académico. En este escenario, entre las características de la interfaz del software, se debe tener en cuenta la claridad de las funciones y conceptos principales, para que el usuario novato descubra sus herramientas sin necesidad de ayuda. Este factor tiende a incentivar al usuario a seguir invirtiendo y profundizando sus conocimientos en el software para ganar la capacidad de uso, de lo contrario estará sujeto a migrar a otro sistema donde identifique menos complejidad de aprendizaje. También hay otras propiedades de la aplicación que pueden no ser atractivas para el usuario de un software paramétrico. Según Aish (2017), también se debe tener en

cuenta: la flexibilidad de cambiar o ingresar datos al principio o a la mitad del árbol de proceso sin causar daños a las otras ramas; efectos no deseados sobre los cambios en los valores; operaciones adicionales que el usuario está obligado a realizar, incluso si no forman parte del proyecto, sino porque son requisitos del funcionamiento del sistema; características demasiado complejas que pueden interrumpir el flujo de trabajo; capacidad para predecir la etapa actual en el resultado final; velocidad de respuesta del software a las interacciones y; Variabilidad de alternativas para la interacción en el modelo. Finalmente, los diseñadores deben ser capaces de "pensar algorítmicamente" sin tener que convertirse en programadores (AISH, 2005).

En el mercado de la construcción, prevalecen dos aplicaciones de programación visual. Uno de ellos, Grasshopper, es un plug-in desarrollado en 2007 que utiliza como plataforma de visualización gráfica la aplicación de modelado Rhinoceros, ambas desarrolladas por Robert McNeel & Associated (ROBERT MCNEEL AND ASSOCIATED, 2022). El otro, Dynamo (DYNAMOBIM, 2022) es un plugin integrado en la plataforma de modelado Revit BIM, lanzado por Autodesk (AUTODESK, 2022) en 2011. Grasshopper trabaja tanto con el software de modelado BIM "Revit" como con "Archicad", pero opera únicamente desde los plugins específicos "Rhino-inside-Revit" y "Grasshopper-Archicad Live Connection", de una manera no integrada con el sistema de información y documentación del proyecto, siendo necesaria para tal manipulación algorítmica de los datos del modelo, y para ello se requieren conocimientos más avanzados de programación visual y programación en lenguaje Python. Dynamo solo funciona con Revit, pero de forma nativa y directamente integrada con BIM.

Uno de los desafíos en el uso de Grasshopper (Figura 1) para usuarios no programadores es el sistema de modelado a partir de "árboles de datos", que es un ordenamiento jerárquico de valores y operaciones, y que requieren el uso de elementos adicionales para trabajar en el lenguaje de programación, que terminan requiriendo un razonamiento lógico adicional por parte del usuario.

Figura 1: Programación visual para la generación de formas en Grasshopper/Rhinoceros.



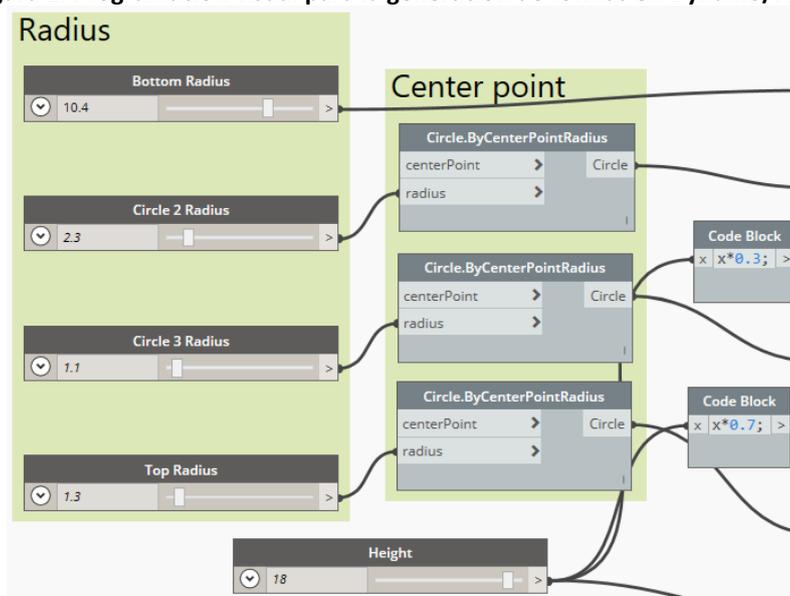
Fuente: Elaborado por los autores.

Un ejemplo analizado por Aish (2017), es la creación de un conjunto de geometrías para generar una superficie 2D, donde es necesario "aplanar" (Operación "flatten") su conjunto de coordenadas en un elemento 1D, que lo convierte en una lista de datos para que sea reconocido por el software. Otra barrera, según Aish (2017) es la adaptación a las terminologías de las aplicaciones en los Grasshopper Data Trees, que en gran medida se

refieren a metáforas, lo que puede generar confusión en el usuario novato. El autor ejemplifica con algunas operaciones como: "Branching" (Ramificación), "Grafting" (Injerto), e "Flattening" (Aplanamiento), que son nomenclaturas metafóricas que no necesariamente describen las operaciones que realizan, a menudo ocultando sus funcionalidades más complejas. En Grasshopper tampoco es posible modificar el método utilizado para generar un nodo, y con esto, para generar una modificación, es inevitable recrear información y restablecer conexiones. Otro punto bajo de Grasshopper, es la imposibilidad de interactuar directamente con la geometría del modelo, ya que sólo es posible realizar acciones y modificar numéricamente la forma desde el "sliders" (paneles de control deslizantes) y otras ventanas de parámetros.

En Dynamo (Figura 2), Aish (2017) también identifica problemas de aplicación con nomenclatura metafórica confusa y duplicada. Al insertar un elemento, la operación recibe un nombre y el "DesignScript" del sistema recibe otro, resultando en dos términos para la misma operación, como es el caso de "lacing", que también termina identificado por "replication", y que permite controlar la interacción entre listas de datos de diferentes tamaños. El descubrimiento de comandos en la interfaz de la aplicación puede no ser tan simple, ya que existen extensas listas de operaciones en submenús que pueden pasar desapercibidas, donde se pueden mencionar como ejemplos los elementos de modelado "Curva", "Superficie" y "Sólidos", que pertenecen a la clase de "Geometrías", y los elementos "Línea", "Arco" y "Círculo", que pertenecen a la clase de "Curvas", pero tienen aplicaciones similares. Al igual que en Grasshopper, en Dynamo tampoco es posible modificar el método utilizado para generar un nodo, sino también para recrear y volver a conectar información. Puede realizar cambios en la plantilla a partir del movimiento directo de los puntos, pero puede ser laborioso seleccionar todos los puntos de las sublistas.

Figura 2: Programación visual para la generación de formas en Dynamo/Revit.



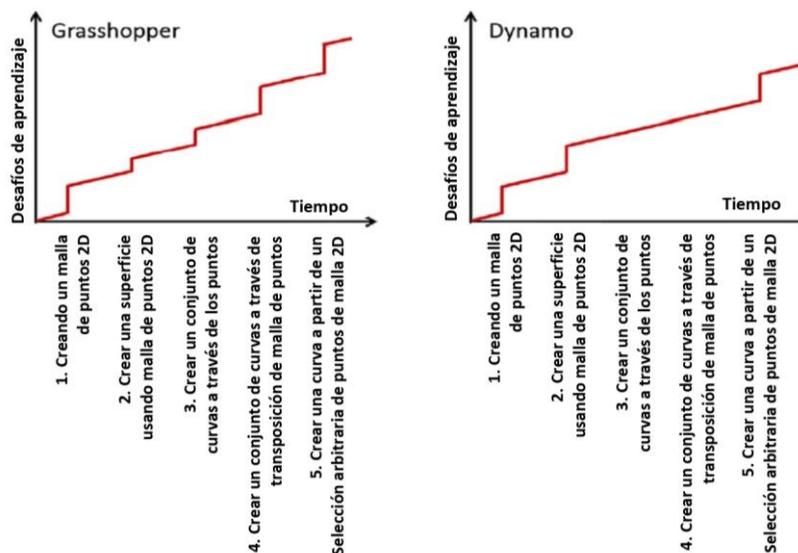
Fuente: Elaborado por los autores.

Existen algunas particularidades en el proceso de aprendizaje de cada aplicación, donde Dynamo puede generar desafíos en cuanto a la nomenclatura de comandos y menús en

los primeros contactos del usuario. Para la generación de puntos y la estructura de datos, Dynamo requiere listas de datos simples y multidimensionales, mientras que Grasshopper requiere una mayor adaptabilidad al lenguaje de árbol de datos de la programación.

En el gráfico (Figura 3) de Aish (2017), Dynamo requiere un mayor compromiso y atención por parte del usuario en la fase inicial de modelado, donde, por ejemplo, en el desarrollo de una malla de puntos en la que puede haber efectos no deseados cuando no hay dominio de uso del software. Aun así, su curva de aprendizaje es menor en procesos posteriores en comparación con Grasshopper, lo que puede traer barreras en la elaboración, por ejemplo, de un conjunto de líneas que siguen una superficie de manera compleja, ya que es necesario tener una mayor comprensión del proceso "Data Tree".

Figura 3: Desafíos de aprendizaje de programación visual.



Fuente: Adaptado de Aish (2017).

Para un análisis de rendimiento comparativo, Brito, Silva y Checcucci (2020) desarrollaron una estructura de techo de celosía espacial en ambas aplicaciones con fines comparativos. Para ejecutar el mismo marco en ambas aplicaciones, se necesitaron 18 "nodos" en Dynamo y 19 "nodos" en Grasshopper. En cuanto al rendimiento, el modelo en Dynamo tardó 7min y 18s en generar el modelo al abrir el archivo, y 53s en actualizarlo al modificar un parámetro dimensional. Mientras tanto, en Grasshopper, solo tomó 3 segundos para ambos procesos, lo que demuestra el poder de procesamiento de este complemento. En modelos de proyecto que contienen más información y que suelen tener más modificaciones, esta diferencia de tiempo puede volverse más expresiva, especialmente en las etapas de estudios iniciales de la composición del formulario.

A partir de esta identificación de las necesidades de los usuarios y las particularidades de las herramientas de programación visual, se determina como propósito de esta investigación realizar un análisis comparativo de popularidad y usabilidad entre los usuarios de estas dos principales aplicaciones de modelado paramétrico utilizadas por los profesionales de AIC (Arquitectura, ingeniería y construcción), que se desarrollarán en dos etapas en el siguiente ítem.

2. Metodología

La metodología consta de dos etapas, donde en la primera se realizará una revisión sistemática de la bibliografía de artículos académicos y científicos para identificar la usabilidad de las aplicaciones "Dynamo" y "Grasshopper" por profesionales de AIC, a ser descritas en el subpunto 2.1. En la segunda etapa, se realizará una investigación cualitativa en los foros oficiales de la comunidad de las aplicaciones en estudio para identificar los comentarios de los usuarios de las mismas aplicaciones, que se describirán en el subpunto 2.2. Parte de la investigación aporta datos de actualización al estudio de Zardo et al. (2017), que, a través de la misma metodología de investigación, proporciona datos comparativos del período de 2011 a 2017 de la usabilidad de Grasshopper y Dynamo en AIC para proyectos y análisis de fachadas de edificios, donde se presenta que Grasshopper se utilizó en el 87,5% de las obras, y Dynamo en el 12,5% de las obras.

2.1 Revisión Sistemática de la Bibliografía

En la primera etapa, se realizó una revisión sistemática de la bibliografía para identificar el uso predominante de aplicaciones de programación visual por parte de los autores de artículos que son profesionales de AIC. Para ello, primero buscamos identificar revistas y bases de datos que contengan artículos relacionados con el diseño paramétrico en arquitectura. Para el conocimiento de estas herramientas de investigación, el Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), en el que se realizó una búsqueda a partir de las cadenas "paramétrico Y arquitectura" en un rango temporal de 2019, donde se obtuvieron 67 resultados. A partir de estos, se identificaron 10 revistas y bases de datos para ser utilizadas en la búsqueda de artículos en los que se utilizan aplicaciones de diseño paramétrico en arquitectura. Las revistas y bases de datos Emerald, EBSCOhost y Gale fueron excluidas de la investigación porque no son de acceso abierto.

Para buscar artículos (Tabla 4), se utilizaron palabras clave de las cadenas de búsqueda: Grasshopper; Dynamo; parametric; architecture; design, con operadores booleanos según las herramientas de búsqueda de cada revista. Filtros "Architecture", "Open Access" "Articles" e "Text" se marcaron siempre que estuvieron disponibles, y para obtener datos más actualizados, se definieron los artículos entre 2019 y 2022, con idiomas en inglés, portugués y español, como marcos temporales.

Tabla 1: Parámetros de la revisión sistemática.

Periódico/Base de Datos	Cadenas de Búsqueda	Cadenas Adicionales
DOAJ	parametric architecture design AND Grasshopper OR Dynamo;	architectural drawing and design
ScienceDirect Journals	Grasshopper OR Dynamo	open access; architecture design
SAGE Premier	parametric AND Grasshopper; parametric AND Dynamo;	only accessfull content
MDPI	Grasshopper OR Dynamo AND parametric AND architecture	
DergiPark	Grasshopper OR Dynamo;	

Periódico/Base de Datos	Cadenas de Búsqueda	Cadenas Adicionales
Springer Online Journals	Dynamo OR Grasshopper AND parametric architecture design	open access; article
IOPscience	Dynamo OR Grasshopper AND parametric architecture design	open access; article
DataCite	parametric architecture design AND Dynamo OR Grasshopper	text
CumInCAD	parametric architecture design AND Dynamo OR Grasshopper	text
SciELO	(ti:(parametric)) AND (Grasshopper) OR (Dynamo)	

Fuente: Elaborado por los autores.

Se generaron un total de 469 resultados de búsqueda, sumando todas las revistas y bases de datos. Para una preselección de los artículos, fueron analizados individualmente por el título y el resumen previo, para confirmar su relación con los siguientes criterios: modelado arquitectónico, como geometrías, diseños, fachadas, estructuras, techos y estudios de áreas y viabilidad; relacionados con el análisis arquitectónico, como el rendimiento del material, el rendimiento térmico, el rendimiento acústico, el análisis de flujo y el análisis de edificios históricos; la generación de documentación BIM, información de proyectos y optimización de procesos. Los artículos preseleccionados fueron analizados con los mismos criterios ahora en sus metodologías, a partir de la búsqueda de las palabras clave "Grasshopper" y "Dynamo", para confirmar que el trabajo está relacionado con AIC e identificar qué aplicación de diseño paramétrico utilizó el autor en el método de investigación. El análisis permitió identificar las aplicaciones específicas del diseño paramétrico utilizadas por los autores en sus métodos de investigación, así como el tema principal de la investigación y el país de origen de la institución que realizó la investigación.

2.2 Análisis en los Foros Oficiales de los Usuarios de las Aplicaciones

En la segunda etapa de la metodología, se realizó una investigación cualitativa directamente en los foros oficiales de los desarrolladores de las aplicaciones, para recopilar opiniones y experiencias de profesionales de AIC sobre los dos principales plugins de diseño paramétrico, permitiendo un análisis de los pros y contras de cada aplicación, desde el punto de vista del usuario. Para ello, analizamos los comentarios en los foros oficiales, donde se buscó el término "Dynamo" en el foro McNeel (Grasshopper), y luego se buscó el término "Grasshopper" en el foro DynamoBIM, en el período de 2019 a 2022. Esta inversión en los términos de búsqueda permitió encontrar comentarios con relaciones comunes entre ambas aplicaciones, aportando información comparativa de usabilidad y rendimiento de cada una. Como criterio para elegir los comentarios para esta investigación, se consideraron los mismos temas de la etapa anterior, que son: modelado arquitectónico, como geometrías, diseños, fachadas, estructuras, techos y estudios de áreas y viabilidad; análisis arquitectónicos, como el rendimiento del material, el rendimiento térmico, el rendimiento acústico, el análisis de flujo y el análisis de edificios históricos; la generación de documentación BIM, información de proyectos y optimización de procesos. No incluimos comentarios de usuarios novatos que indicaron que aún desconocían el software, con la excepción de las percepciones relacionadas con la interfaz

de las aplicaciones. En base a estas condiciones, se seleccionaron 19 comentarios en el foro de Dynamo y 19 comentarios en el foro de Grasshopper, que muestran las preferencias de uso de aplicaciones de 28 diseñadores paramétricos que aportan comparaciones, potencialidades y debilidades en las aplicaciones de ciertas tareas. Los comentarios fueron clasificados de acuerdo con los grupos de sujetos identificados entre los autores Woodbury (2010) y Oxman (2010), como el rendimiento del proceso y flujo, la interfaz intuitiva, las geometrías asociativas y el procesamiento de datos, y se crearon más categorías de clasificación según los sujetos recolectados.

3. Resultados

Lo datos obtenidos de las metodologías descritas en los subítems 2.1 y 2.2 también fueron analizados en dos etapas. La primera etapa consistió en utilizar la información obtenida en la revisión bibliográfica sistemática. La segunda etapa se basó en las descripciones obtenidas en los foros oficiales de las aplicaciones en estudio, y los resultados se presentan en los subítems siguientes.

3.1 Resultados de la Revisión Sistemática de la Bibliografía

La búsqueda en revistas y bases de datos resultó en 122 artículos (Tabla 2) que cumplieron con todos los criterios descritos en la metodología, y en cada uno se identificó la aplicación utilizada por el autor para el desarrollo del trabajo/estudio AIC.

Tabla 2. Artículos Obtenido en la búsqueda

Periódico / Base de Datos	Resultados Obtidos	Artigos Usados
DOAJ	19	4
ScienceDirect Journals	30	18
SAGE Premier	66	9
MDPI	27	18
DergiPark	49	2
Springer Online Journals	66	8
IOPscience	55	22
DataCite	9	3
CumInCAD	110	34
SciELO	38	4
Total	469	122

Fuente: Elaborado por los autores.

Los artículos seleccionados presentaron los más diversos tipos de aplicaciones y usos de Dynamo, Grasshopper o trabajo conjunto, y los resultados indican que Grasshopper sigue siendo la mejor opción para los usuarios de diseño paramétrico en la industria AIC. Se pudieron identificar algunas de las potencialidades de usos específicos de cada uno de ellos, y entre los trabajos y estudios analizados, se encontró que Grasshopper y Dynamo se utilizaban como herramientas para el modelado complejo de estructuras arquitectónicas hechas de

madera y acero para proyectos arquitectónicos de edificios y pabellones. Para esto, muchos de los autores utilizaron complementos para facilitar procesos de diseño específicos, como el complemento "Kangaroo" para Grasshopper y el complemento "Dynashape" para Dynamo. Otro tema importante se refiere a la optimización del proceso de diseño, que implica la integración de aplicaciones paramétricas con software de modelado BIM como Revit y Archicad, utilizando complementos como "Rhino Inside Revit", "Rhynamo" y "Archicad Live Connection" para la entrada de datos de Rhino / Grasshopper. Esto permite la creación de rutinas para tareas repetitivas, como identificar, ordenar o aleatorizar detalles constructivos en proyectos, que pueden ser reutilizados en trabajos futuros. Además, Dynamo le permite crear rutinas para anotaciones de secuencias repetitivas para documentación.

Los elementos modulares paramétricos se pueden probar en diseños con características variables de materiales, geometrías y envolventes utilizando pruebas de variación rápida para encontrar la mejor condición rentable para una construcción viable. Con este fin, los complementos de algoritmos evolutivos como "Octopus", "Opossum" y "Galapagos" para Grasshopper y "Optimo" para Dynamo se pueden usar para la optimización multiobjetivo, probando múltiples puntos de datos, como coordenadas ideales, curvas, formas y evitando puntos conflictivos, de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto.

Figura 4: Ejemplos de usos de aplicaciones de aplicaciones

Predominio de uso en revistas/bases de datos

GRASSHOPPER	DYNAMO
<ul style="list-style-type: none">• Enseñanza de modelado arquitectónico a los estudiantes.	<ul style="list-style-type: none">• Análisis de flujo de edificios
<ul style="list-style-type: none">• Luminosidad, confort visual, flujo y análisis de materiales	<ul style="list-style-type: none">• Análisis solar y energético
<ul style="list-style-type: none">• Análisis solar, eólico, sísmico, acústico y energético	<ul style="list-style-type: none">• Modelado de estructuras de madera/metal
<ul style="list-style-type: none">• Modelado cinético y biomimético de estructura/fachada	<ul style="list-style-type: none">• Heritage building information modeling (HBIM)
<ul style="list-style-type: none">• Estructuras de madera/metal	<ul style="list-style-type: none">• Entrada de datos nativos
<ul style="list-style-type: none">• Modelado de información de edificios patrimoniales (HBIM)	<ul style="list-style-type: none">• Optimización de procesos
<ul style="list-style-type: none">• Fachadas de alto rendimiento	<ul style="list-style-type: none">• Documentación BIM
<ul style="list-style-type: none">• Análisis isovista	<ul style="list-style-type: none">• Anotaciones del proyecto

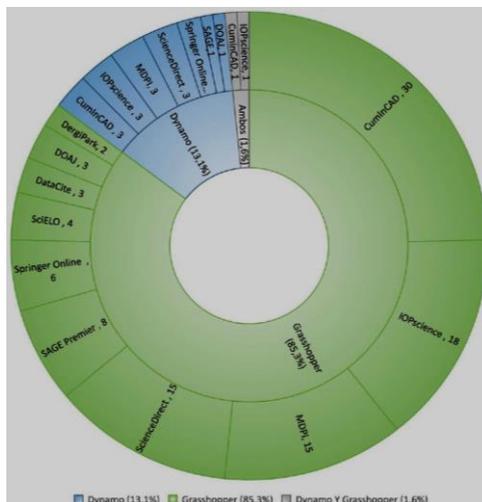
Fuente: Elaborado por los autores.

En particular, cuando se trata de analizar el rendimiento de la energía solar en edificios, el 95% de los autores dio preferencia a Grasshopper sobre Dynamo. Esto se debe en gran parte al impresionante rendimiento de su complemento "Honey Bee", que es capaz de procesar grandes cantidades de datos con precisión y estabilidad. Además del análisis de energía solar, Grasshopper es una herramienta muy útil para estudios térmicos, incluyendo el análisis de materiales y geometrías de fachadas, así como pruebas de diferentes tamaños de

ventanas y su posición en un edificio para un rendimiento energético óptimo (Figura 4). Además, las simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) se pueden utilizar para analizar el confort de la ventilación, teniendo en cuenta factores como la dirección del viento y la influencia de barreras externas como los edificios vecinos. En general, las sólidas capacidades y complementos de Grasshopper lo convierten en la opción preferida para una amplia gama de tareas de diseño y análisis en la industria AIC.

En ambos, se identificaron trabajos que involucran modelado complejo en madera y acero, así como el uso de complementos para procesos específicos, como la optimización de procesos y el análisis detallado del rendimiento de los edificios y las encuestas de datos en gran precisión de edificios históricos para su conservación y restauración. Dynamo también tuvo su uso para soluciones avanzadas en BIM, energía, ventilación y análisis de flujo de edificios, y modelado para proyectos de restauración, mientras que Grasshopper tuvo su uso aplicado en estudios de fachada y volumetría, análisis térmicos, acústicos, luminosos, sísmicos, de materiales y de rendimiento isovista, así como una herramienta de enseñanza para estudiantes de proyectos. El siguiente análisis (Figura 5) nos permitió identificar el predominio del uso general de los usuarios entre las dos aplicaciones. Entre las 122 obras analizadas, Grasshopper se utilizó en el 85,3% de las obras analizadas, mientras que Dynamo se aplicó en el 13,1% de las obras, y en el 1,6% de las obras, los autores utilizaron ambas aplicaciones, donde, por ejemplo, la secuenciación numérica de la estructura del edificio se desarrolló a partir de Dynamo, y el modelado orgánico de la arquitectura en Grasshopper.

Figura 5: Predominio del uso de aplicaciones



Fuente: Elaborado por los autores.

El diseño paramétrico juega un papel importante en el modelado de información de construcción del patrimonio arquitectónico (HBIM). Tanto Dynamo como Grasshopper ofrecen potentes herramientas para escanear edificios históricos existentes utilizando la tecnología gráfica de punto de información de superficie (SIP). Estas herramientas permiten a los diseñadores y arquitectos crear modelos 3D precisos de edificios antiguos con fines de restauración y preservación. Este enfoque permite la recopilación de datos confiables y el modelado altamente detallado de los elementos en las fachadas y espacios interiores de catedrales, teatros, museos, puentes y cualquier otro edificio histórico. Grasshopper y Dynamo ofrecen herramientas para una variedad de aplicaciones, incluido el diseño y análisis de

fachadas, estudios de masa, análisis de rendimiento energético y modelado de información de edificios patrimoniales. Si bien existen similitudes con Grasshopper en términos de estas aplicaciones, Dynamo es más competente en la integración con BIM y la producción de documentación de construcción. Por otro lado, Grasshopper está más ampliamente distribuido entre la comunidad y es conocido por su fuerza en análisis específicos de rendimiento, como la acústica y la luminosidad. Esta es una posible razón por la cual Grasshopper es a menudo el software de elección para enseñar a estudiantes y nuevos profesionales en diseño paramétrico.

Debido a la gran cantidad de posibilidades de aplicación encontradas en la investigación, los datos recolectados fueron clasificados en 3 categorías de acuerdo con los principales temas identificados en la revisión bibliográfica. Estos temas de investigación son: análisis paramétrico de construcciones; modelado de arquitectura paramétrica; documentación de construcción (Tabla 3). Estas categorías permiten comparaciones gráficas cuantitativas simples de preferencias de aplicaciones paramétricas para tareas paramétricas específicas, basadas en los algoritmos y particularidades de cada programa de software. Esto permite a los arquitectos e ingenieros evaluar y comparar diferentes enfoques para el análisis del rendimiento del edificio, el modelado geométrico, la integración BIM y la optimización del diseño de acuerdo con lo que practican los diseñadores paramétricos experimentados de AIC.

Tabla 3: Predominio del uso de software paramétrico.

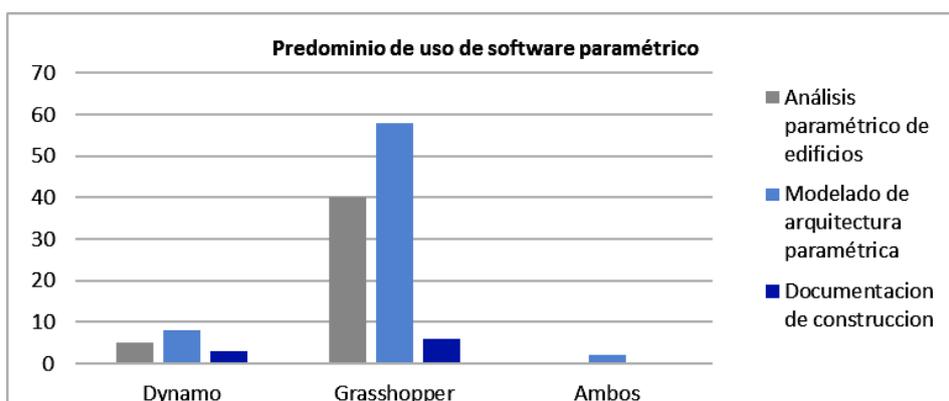
	Predominio del uso por categorías	Dynamo	Grasshopper	Ambos	Total
Análisis paramétrico	Análisis de rendimiento acústico		1		1
	Análisis de flujo circulatorio	1	1		2
	Análisis de material de construcción		2		2
	Análisis de eficiencia energética	3	4		7
	Análisis de desempeño ambiental		2		2
	Análisis de energía sísmica		1		1
	Análisis del rendimiento de la energía solar	1	19		20
	Análisis de confort visual		4		4
	Análisis del rendimiento del viento		6		6
	Subtotal				36,9%
Modelado de arquitectura paramétrica	Modelado y rendimiento de Fachadas		10		10
	Modelización para la conservación del patrimonio arquitectónico	5	5		10
	Modelado de edificios arquitectónicos	1	2		3
	Modelado de la estructura arquitectónica	1	9		10
	Modelización de estudios de masificación		3		3
	Proceso de diseño de geometrías complejas	1	8		9
	Proceso educativo		2	1	3

	Predominio del uso por categorías	Dynamo	Grasshopper	Ambos	Total
	Optimización para el proceso de diseño de la construcción		19	1	20
	Subtotal				55,7%
Documentación de construcción	Fabricación digital	1	2		3
	Diseño BIM integrado	2	4		6
	Subtotal				7,4%
	Total	16	104	2	122

Fuente: Elaborado por los autores.

Es notable que Grasshopper prevalece sobre Dynamo en la mayoría de los tipos de modelado y análisis para AIC (Figura 6). Grasshopper tiene más registros de uso para el análisis de rendimiento de la energía solar y la optimización para el proceso de diseño del edificio. Estos dos elementos consumen 1/3 de todos los usos e involucran edificios de alto rendimiento y sostenibles, confort térmico del usuario, soluciones basadas en algoritmos inteligentes para el diseño y diseño de la construcción, como, por ejemplo, la modulación de paredes o estructuras de techo para una construcción ágil y más económica. Otra aplicación relevante es para el diseño de fachadas arquitectónicas contemporáneas, con uso constante para fachadas cinéticas de aluminio y fachadas biomiméticas. En la mayoría de los casos, los profesionales utilizan el modelo generado posteriormente para el rendimiento de la energía solar. El análisis del confort visual implica la translucidez del vidrio de ventanas y puertas, la luminosidad, el tamaño de las ventanas, el campo de visión del paisaje y los edificios circundantes.

Figura 6: Predominio de la usabilidad del software paramétrico.



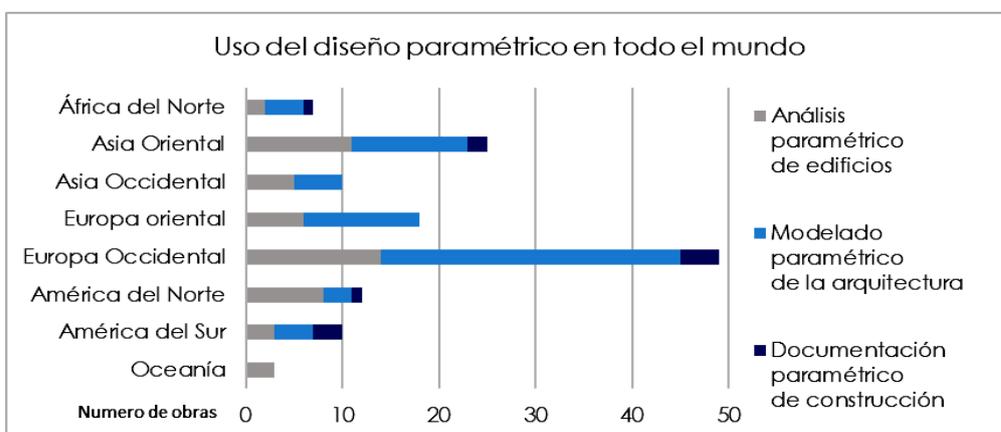
Fuente: Elaborado por los autores.

Existe una gran demanda entre los diseñadores paramétricos de AIC en modelado arquitectónico para modelar geometrías complejas y superficies con grandes cantidades de datos para el modelado y optimización de superficies, que a menudo no son directamente practicables en el software CAD o BIM. La documentación de construcción representa una

tarea evidente de baja demanda para el proceso de diseño paramétrico de Grasshopper, posiblemente porque no proporciona las herramientas adecuadas que se pueden introducir para las anotaciones y la documentación de proyectos de construcción. Esto también se puede explicar porque Grasshopper tiene una gran demanda de análisis de rendimiento de construcción, que no necesariamente requiere la extracción de documentación, ya que la mayoría de los proyectos se generan en software BIM y posteriormente se importan a Rhinoceros. Se buscaron las ubicaciones de los institutos que publicaron los artículos, de modo que sea posible encontrar la tendencia global hacia el diseño paramétrico para AIC. Algunos artículos fueron escritos por más de una institución en diferentes países y, por lo tanto, en algunos casos más de un país participó en el mismo artículo. Los países se clasificaron en las siguientes regiones: América del Sur (Brasil, Chile); América del Norte (Canadá, Estados Unidos); África del Norte (Egipto); Europa Occidental (Alemania, Austria, Dinamarca, España, Finlandia, Grecia, Italia, Noruega, Países Bajos, Portugal, Escocia, Reino Unido, Suecia, Suiza); Europa del Este (Hungría, Polonia, Rusia, Serbia, Eslovaquia, Turquía); Arabia Saudita Occidental (Emiratos Árabes Unidos, India, Irán, Qatar); Asia Oriental (China, Indonesia, Singapur, Corea del Sur, Taiwán); Oceanía (Australia).

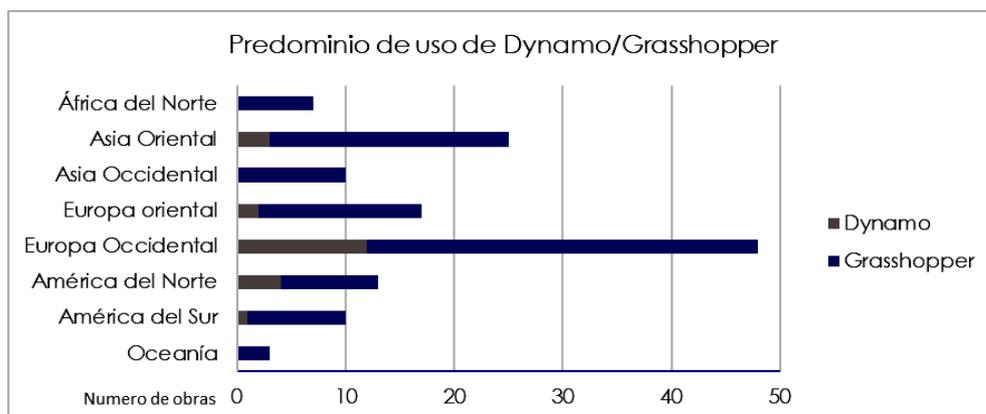
Es evidente que Europa Occidental predomina en el uso del diseño paramétrico para AIC, con un enfoque principal en el modelado arquitectónico de edificios, pabellones, fachadas y diseños estructurales con geometrías complejas y orgánicas (Figura 7). Cabe destacar que la aplicación Grasshopper se ha convertido en el software líder para el diseño paramétrico en todo el mundo, particularmente en países como China e Italia, que realiza grandes inversiones en edificios de alto rendimiento y se centra en la conservación de datos históricos de edificios. Otros países que han demostrado una mayor adopción de herramientas de diseño paramétrico son Brasil, Turquía, Estados Unidos, Egipto, España y el Reino Unido, que han mostrado una amplia gama de publicaciones científicas en el área, y esto puede ser el resultado de lugares con ciudades verticales de rápido crecimiento o importancia histórica, con búsqueda de soluciones de diseño innovadoras y sostenibles. En regiones como África del Norte, Asia Occidental y Oceanía, la adopción de software paramétrico es relativamente baja, pero Grasshopper sigue siendo la herramienta de diseño paramétrico más ampliamente adoptada para el modelado AIC. Hay una falta de evidencia de los artículos de trabajo / estudio de Dynamo en Sudáfrica y América Central, lo que indica una adopción relativamente baja del diseño paramétrico en estas regiones (Figura 8).

Figura 7: Uso del diseño paramétrico en zonas globales.



Fuente: Elaborado por los autores.

Figura 8: Uso del diseño paramétrico en zonas globales



Fuente: Elaborado por los autores.

3.2 Resultados de Búsqueda en Foros de Usuarios

En la búsqueda de comentarios en los foros oficiales de Dynamo y Grasshopper, se extrajeron las experiencias y opiniones de 28 usuarios a partir de 38 comentarios, 19 en cada plataforma. Tanto los foros de McNeel (Grasshopper) como los de Dynamo tienen interfaces y motores de búsqueda idénticos, lo que facilita la interacción en ambos sitios web. Hay registros frecuentes de interacciones a través de comentarios, lo que permitió una recopilación equilibrada y actualizada de datos y opiniones. También identificamos a usuarios que tienen alguna experiencia o interés en las dos aplicaciones/plugins y que también interactúan en los dos foros. La búsqueda generó resultados comparativos, en los que los diseñadores paramétricos muestran los mejores usos para cada aplicación desde su punto de vista, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Preferencias del usuario en la comunidad.

Análisis y Experiencias de Usuario		Dynamo	Grasshopper
Procesos y Flujos	Mejor procesamiento y cálculo de geometrías		✓
	Mejora del rendimiento en la distribución de las plazas de aparcamiento		✓
	Mejor flujo de trabajo para geometrías pesadas y complejas		✓
	Mejor flexibilidad y estabilidad		✓
	Más eficiente para automatizar el proceso al máximo	✓	
	Mejor en el procesamiento de ejercicios de geometría más ligera	✓	
	Permite la creación de flujos de trabajo personalizados para procesos	✓	
Plugins	Tiene mayor disponibilidad de plugins		✓
	Mayor estabilidad en el procesamiento de plugins		✓

	Análisis y Experiencias de Usuario	Dynamo	Grasshopper
	Mejor capacidad para manejar diferentes tipos de restricciones geométricas		✓
BIM Y Datos	Procesa bien los datos de Revit mediante Rhino-inside-Revit		✓
	Permite la conexión a Archicad Live Connection		✓
	Permite la identificación de elementos en Revit	✓	
	Mejores funciones de manejo de datos de documentación	✓	
	Preparación de horarios, comentarios, hojas de cálculo y notas	✓	
	Más eficiente en la gestión de datos de alta dimensión	✓	
Usuarios	Más oportunidades de empleo en la construcción	✓	
	Comunidad más grande		✓
Interfaz	Interfaz más hermosa y fácil de usar		✓
	Muestra el tiempo de ejecución de cada "nodo"		✓
	Herramientas más fáciles de encontrar	✓	
	Le permite "expandir" listas y árboles de contenido sin paneles adicionales	✓	
	Tiene una opción de ventana gráfica transparente para la vista del modelo	✓	
	Permite la programación textual junto con elementos Codeblocks	✓	
Geometría	Más flexible para trabajar con intersección de geometrías		✓
	Más eficiente para hacer un diagrama de Voronoi		✓
	Permite la curvatura y parametrización de líneas sobre superficie curva		✓
Análisis	Mejor operatividad para crear funciones "isovista"		✓
	Mayor precisión en el tiempo de exposición solar en un punto específico		✓

Fuente: Elaborado por los autores.

Se pudo observar la existencia de una comunidad más grande de usuarios, en comparación con Dynamo, que hacen uso de Grasshopper, principalmente para el desarrollo de geometrías que requieren elementos con grandes cantidades de nodos y datos, ya que es capaz de procesar una mayor cantidad de datos sin perder rendimiento, siempre que el diseñador tenga un hardware adecuado para soportar el procesamiento intensivo de datos del algoritmo. Grasshopper también tiene una mayor disponibilidad de complementos de modelado y análisis, lo que puede ser una de las justificaciones para estar más extendido entre los diseñadores paramétricos del mundo.

Para mencionar a los usuarios analizados, fueron nombrados numéricamente del 1 al 28. Como ejemplo de modelado geométrico, el usuario Nº 27 sugiere que Grasshopper puede

ser la aplicación más adecuada para hacer un diagrama de Voronoi, que como explica Lima (2017) tiene en cuenta un conjunto de puntos con divisiones organizadas entre ellos, de modo que haya una región para cada punto y siendo sus límites la mitad de la distancia entre el punto vecino. El polígono generado por el diagrama de Voronoi se puede aplicar, por ejemplo, en el modelado de fachadas y techos, y también en el análisis urbano. El proceso y el flujo se pueden ejemplificar en el comentario del usuario No. 2, que sugiere que el procesamiento de geometría de Rhino-Grasshopper funciona mejor que el de Dynamo, y sin perder viabilidad y en menos tiempo de procesamiento al modificar un parámetro. Aún en el flujo de datos, el usuario No. 17 señala que Dynamo viene a ser más eficiente para el procesamiento de datos y para ejercicios de geometrías de elementos, mientras que Grasshopper es mejor para elementos con geometrías pesadas y complejas. Esto indica que el primero puede ser más eficiente para estudios rápidos y un buen optimizador de procesos, mientras que el segundo es capaz de procesar mayores cantidades de datos y geometrías siempre que se disponga de hardware de buen rendimiento, como RAM mejorada y procesador computacional eficiente.

Al estructurar datos para fines de documentación BIM, el usuario No. 4 sugiere que Dynamo es más eficiente en la gestión de "Datos de alta dimensión", es decir, es capaz de procesar un conjunto de datos donde hay una cantidad similar o mayor de características de muestra en comparación con el número de muestras en una tabla, según lo definido por Beuren y Fachel (2010). En cuanto al perfil de uso, la percepción del usuario No. 12 es que Dynamo está más orientado a la construcción, mientras que Grasshopper también es utilizado por diseñadores de productos y programadores. Otra perspectiva, identificada por el usuario No. 7, es que una oficina que trabaja con grandes proyectos y ya tiene un equipo competente en Dynamo podría tener un alto costo para reemplazar el software para Grasshopper entre grandes equipos de profesionales, y puede llegar a ser desventajoso.

Hay algunas debilidades que los usuarios señalaron en cada aplicación, como se muestra en la Figura 9. Entre las debilidades de Dynamo identificadas por el usuario No. 1, se puede mencionar la falta de métodos para curvar y parametrizar una línea en una superficie curva, y por el usuario 2 que dice que es más difícil insertar múltiples parámetros a múltiples elementos. Con esto, se refuerzan las necesidades de flexibilización de operación de este tipo modelado con curvaturas complejas por parte del desarrollador, y que los procesos con parámetros de árboles de datos pueden convertirse en tareas difíciles, cuyas situaciones también fueron reconocidas por Aish y Hanna (2017) sobre el software Grasshopper. También hay algunas posibles debilidades de Grasshopper, como la mencionada por el usuario nº 5, en la que sugiere que aún faltan procesos de documentación detallados, como crear vistas con parámetros independientes, asignar cuadros de alcance, crear hojas de cálculo con vistas directamente desde Excel. El usuario No. 3 opina que Grasshopper tiene una curva de aprendizaje más alta, lo que hace que sea más difícil de implementar en las oficinas de proyectos.

A lo largo de la búsqueda en los foros se observó que con la expansión de los usuarios del software de diseño Autodesk Revit en los últimos años, también hubo a partir de 2018 un aumento en el número de usuarios competentes en Grasshopper que buscan aprender Dynamo, para que pudieran insertar sus modelos directamente en el sistema BIM de manera más efectiva. En 2021, con el lanzamiento del complemento "Rhino Inside Revit", muchos de estos usuarios volvieron a centrarse en la aplicación McNeel, ya que el complemento ahora permite llevar un modelo de Rhinoceros a Revit junto con sus parámetros sin tener que recurrir a Dynamo. Con esto, se observó en las discusiones un aumento en el número de usuarios en el año 2022 haciendo uso de Grasshopper junto con este nuevo complemento,

reemplazando a Dynamo.

Figura 9: Debilidades de las aplicaciones en la percepción de los usuarios.



Fuente: Elaborado por los autores.

Los datos de rendimiento obtenidos convergen con el estudio realizado por Brito, Silva y Checcucci (2020), donde Grasshopper demuestra mejores capacidades para el procesamiento de datos, lo que resulta en un menor tiempo de procesamiento para generar y actualizar las geometrías cuando se cambia un valor variable. En Dynamo, la principal ventaja identificada es la interacción directa con BIM y la capacidad de documentar elementos 3D para la ejecución del proyecto, teniendo su uso más enfocado al desarrollo de modelos por parte de oficinas de arquitectura, ingeniería y construcción que requieren menos complejidad de geometría y mayor integración con documentación en las etapas más avanzadas de diseño. El uso de algoritmos permite a los arquitectos e ingenieros optimizar el rendimiento y la eficiencia del edificio, explorar diferentes opciones de diseño y crear documentación de construcción precisa y detallada. El potencial de Grasshopper para optimizar los proyectos de construcción se puede explotar a través de la integración con el software BIM, con complementos como "Rhino Inside Revit". Además, las oficinas de diseño con menos demanda de datos de geometría compleja y la necesidad de una mayor agilidad en la documentación de la construcción pueden beneficiarse de la exploración de las instalaciones de Dynamo. Por lo tanto, dentro de plugin como "Galápagos", estas herramientas son capaces de ayudar a la toma de decisiones del profesional en cuanto a la forma y características del proyecto, introduciendo soluciones inteligentes de optimización para encontrar coordenadas, geometrías o límites y volúmenes ideales del edificio en un área determinada del terreno. Para una tarea como esta, un diseñador no sería capaz de realizar sin cálculos muy avanzados y una gran demanda de tiempo. El resultado generado por la aplicación será un modelo ideal según las condiciones definidas y según el tiempo y la capacidad de procesamiento computacional a realizar por el profesional de la Computadora Personal. Los datos de rendimiento obtenidos convergen con el estudio de Brito, Silva y Checcucci (2020), donde Grasshopper demuestra

tener un mejor procesamiento de datos, tomando menos tiempo de procesamiento para generar las geometrías.

4. Consideraciones Finales

Se observa a partir de la revisión sistemática de la bibliografía y la búsqueda en los foros la existencia de una comunidad más grande de usuarios, en comparación con Dynamo, que hacen uso de Grasshopper, principalmente para el desarrollo de geometrías que requieren elementos con una gran cantidad de nodos y datos, ya que es capaz de procesar una mayor cantidad de datos sin perder rendimiento, y tiene mayor disponibilidad de plugin de modelado y análisis, lo que puede ser una de las justificaciones para estar más extendido entre los diseñadores paramétricos. Es posible observar una tendencia creciente de búsqueda de soluciones rápidas por parte de las oficinas de proyectos, de la misma manera que ha aumentado la búsqueda de profesionales que dominen las herramientas algorítmicas en lenguaje de programación. Esto plantea un debate sobre los nuevos roles que los arquitectos, ingenieros y planificadores urbanos están a punto de asumir en un futuro próximo, evolucionando la arquitectura y la tecnología de software para lograr un rendimiento bueno y ágil. Aun así, estos profesionales aún necesitan enfrentar una barrera cultural para aprender un lenguaje de programación, y esto se puede resolver aprendiendo estas herramientas durante el período académico.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por la Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, y por la Fundação de Amparo à pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Referencias

- AISH, R. **From Intuition to precision**. Ecaade 23. p. 2, 2005. DOI: 10.52842/conf.ecaade.2005.010
- AISH, R.; HANNA, S.; **Comparative evaluation of parametric design systems for teaching design computation**. vol. 52, pp. 144-145, 2017. DOI: 10.1016/j.destud.2017.05.002.
- AUTODESK. **Dynamo**. 2022. URI: <https://www.autodesk.com>.
- BEUREN, G, M; FACHEL J.M.G. **Análise de dados de altas dimensões**. 2010_p 13. Monografía (Licenciatura en Estadística) – Departamento de Estadística, UFRGS, p. 13, 2010. URI: <http://hdl.handle.net/10183/24864>.
- BRITO, B.; SILVA, F.; CHECCUCCI, É. **Estudo comparativo entre ferramentas de projeto paramétrico**, In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído ANTAC, Porto Alegre, vol. 18, No. 1, 2020. DOI: 10.46421/entac.v18i.1228.
- DAVIS, D. Modelled on Software Engineering: **Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture**. Tesis doctoral para el Programa de Posgrado RMIT University, Melbourne, pp. 195-196, 2013. URI: <https://www.researchgate.net/publication/301354977>.
- DYNAMOBIM. **Foro oficial del Dynamo**. 2022. URI: <https://forum.dynamobim.com>.
- HERNANDEZ, C. Thinking parametric design: **Introducing parametric Gaudi**. Design Studies Vol. 27, p 311-315, 2005. DOI: 10.1016/j.destud.2005.11.006.
- HUDSON, R. **Strategies for parametric design in architecture**. An application of practice led research, p

245, 2010. URI: <https://www.researchgate.net/publication/334521298>

LIMA, F.F. **Arquiteturas Digitais a partir do diagrama de Voronoi e triangulação de Delaunay**. Revista Projetar v.2, n.2, p 54, agosto de 2017. DOI: 10.21680/2448-296X.2017v2n2ID16583.

OXMAN, R. **Theory and design in the first digital age**. Vol 27 Nº 3, p 252, 2006.

OXMAN, R.; GU, N.; **Theories and models of parametric design thinking**. Generative Design – Concepts – Volume 2, p 480, 2015. URI: <https://www.researchgate.net/publication/279199673>.2020.

ROBERT MCNEEL AND ASSOCIATED. **Fórum oficial da McNeel**. 2022. URI: <https://discourse.mcneel.com/>.

WOODBURY, R. **Elements of parametric design**. London and New York: Routledge, p 24-34, 2010.

ZARDO, P.; SILVA, J. L.; MUSSI, A. Q. **Dynamo e Grasshopper: difusão científica e popularidade entre usuários**. Pesquisa e iniciação científica: Trabalhos selecionados da XI mostra de iniciação científica e extensão comunitária e X mostra de pesquisa de pós-graduação. 1ed. Passo Fundo: Editora do IFIBE, v. 1, p. 45-53, 2017.

ZARDO, P. **As tecnologias digitais e o processo de projeto contemporâneo**. Disertación (Maestría en Arquitectura y Urbanismo) – Programa de Postgrado IMED, Passo Fundo, 2020, p. 154, dezembro de 2018. URI: <https://www.researchgate.net/publication/331682364>.