

Paper

Categorías de modelos paramétricos y técnicas de visualización de datos

Eseiza, Emiliano Matías

emiliano.eseiza@fadu.uba.ar

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Buenos Aires, Argentina.

Línea temática 2. Categorías, clasificaciones y métodos

Palabras clave

Modelos paramétricos, Categorías, Visualización de datos, Sistema generativo

Resumen

El modelado paramétrico, entendido como una técnica de representación sensible a diversos indicadores y conjuntos de ecuaciones que expresan una geometría, es una herramienta novedosa en las disciplinas de arquitectura y diseño industrial, pero poco se ha explorado su implementación en acciones orientadas a incidir de manera efectiva en el tejido social.

La ponencia hace foco en esta técnica y establece un primer acercamiento cruzando técnicas de visualización de datos, esquematización y modelado paramétrico. La finalidad es encontrar variables de representaciones, agrupaciones, categorías que puedan potenciar el lugar que ocupan las técnicas mencionadas; aprovechando

las características dinámicas, la topología y sensibilidad a la variación que despliegan. La convergencia de patrones en los modelos paramétricos permite encontrar categorías de visualización con el fin de analizar indicadores, conocer la utilidad y carácter de la información, el contexto de aplicación, para que pueda profundizarse y aplicarse a realidades múltiples y estudios y a estudios en relación con problemáticas sociales complejas.

Introducción

Esta ponencia forma parte de un proyecto de investigación mayor que se encuentra en sus etapas iniciales, para la maestría en diseño interactivo (MAEDI) de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires (FADU-UBA). Tiene como objetivo general estudiar modelos paramétricos que sirvan como visualizaciones de datos en realidades sociales complejas y ayuden en la búsqueda de alternativas de aplicación y soluciones. La ponencia se limitará a explorar técnicas de visualización de datos y modelado a las que pueda aplicarse una parametrización flexible que se anticipe a los cambios y sistemas. Esto requiere un análisis de las distintas técnicas de modelos paramétricos y visualización de información, considerando su versatilidad, su diseño a través del algoritmo y posible categorización.

Aproximación al modelado paramétrico

El modelado paramétrico, ampliamente trabajado en arquitectura y diseño industrial, desde hace décadas, propone modos de representación a partir de algoritmos. Tiene sus orígenes en las investigaciones matemáticas y cibernéticas de los años cuarenta, la Teoría General de Sistemas, fractales, sistemas caóticos, configuración de procesos no-lineales y conceptos de complejidad. Entre algunos de sus referentes teóricos, Gilles Deleuze ha desarrollado estructuras de pensamiento alrededor de la complejidad; Charles Jencks, relacionó la complejidad con ideas de no-linealidad; y Edgar Morin, hizo referencia a los asociados heterogéneos y la paradoja de lo uno y lo múltiple.

Fueron los avances de la tecnología digital los que empujaron el modelado a partir de parámetros hacia las disciplinas proyectuales, estableciendo un nuevo

modo de pensar la actividad. A diferencia del diseño asistido por computadora que crea modelos estáticos, el paramétrico es una forma de moldear a partir de métodos algorítmicos versátiles; permite alterar determinadas características del modelo en cualquier instancia del proceso sin tener que volver a calcular otros elementos que se verían afectados. Fraile (2012) explica que esta forma de diseñar “evaluará los diferentes resultados obtenidos, introduciendo modificaciones, con cada nueva alternativa, recalculará y reconfigurará las variaciones de los parámetros originales, permitiendo su evaluación desde una fase temprana”. En el proceso de modelado paramétrico se puede obtener una variedad casi infinita de variantes, cambios y resultados, y esto se debe a que el proceso, modificable en todas sus instancias, es capaz de detectar y evaluar en tiempo real a partir de alternativas matemáticas.

Entendemos aquí al modelo como una representación de un sistema complejo que ha pasado por una simplificación y tratamiento de diferentes formas. La construcción de modelos es parte experimental de muchas ciencias ya que su construcción permite describir y/o realizar una simulación de fenómenos de investigación. La informática ha permitido otro tipo de acercamiento a la realización de modelos, agregando complejidad y enfoques multidisciplinares. Según Brady Peters (2012, citado en Dalla Costa, 2014) lo importante en un modelo es “entender cuáles son los parámetros de un proyecto y descomponerlos en las reglas definidas”, para establecer códigos y variables en una serie de algoritmos, a fin de poder evaluar un abanico de relaciones posibles.

En arquitectura y diseño industrial, un modelo puede ser un dibujo tridimensional de un objeto. Estos modelos, si son desarrollados por medio de un ordenador, pueden ser desarrollados con variables paramétricas o simplemente ser geométricos estáticos. Las técnicas de visualización y modelado que analizaremos en esta ponencia involucran una tridimensionalidad digital y son resultado de una parametrización desde softwares especializados que se mencionan más adelante.

El modelado tridimensional y paramétrico en estos términos es posible gracias a la utilización de los denominados “algoritmos genéticos”, un tipo de algoritmo establecido por John Holland entre 1960 y 1970, basado en postulados de la teoría evolutiva. Holland estudió procedimientos matemáticos que imitan los criterios darwinianos de adaptación, selección y supervivencia de las especies y cómo estos pueden ser entendidos en sistemas informáticos. Holland estableció que una situación de variables iniciales que podemos denominar “población original” o “padres” pueden obtenerse una serie de “protosoluciones”, o acercamientos primarios conocidos como “hijos”. La

combinación genética entre estos resultados puede dar lugar a sucesivas generaciones, pero el éxito del algoritmo está en lo que denomina la “mutación” o combinación que formaran nuevas “generaciones”.

En un sistema generativo dinámico se pone atención tanto en la forma geométrica del modelo como en su conducta interpretando relaciones lógicas entre complejas bases de datos de información. Brandt (2015) y Brander (2016), citados en Kaled (2016, p. 54) definen que el diseñador, además de especificar puntos, líneas y formas, también contempla metas y límites para que mediante *software* se generen diferentes alternativas de diseño que contemplen diversos tipos de cambio.

Se presenta como un proceso de proyectación transparente, permeable, de estructura abierta, factible de sociabilizar y construir en forma colectiva. Además, si el proceso se guarda en una secuencia escrita o diagrama, [...] permitirá el continuo desarrollo y ajustes de las estructuras algorítmicas, retomando estos procesos iniciados desde búsquedas o problemas similares (Dalla Costa, 2014).

Del conjunto de aplicaciones informáticas existentes, los *softwares* de diseño paramétrico generativo más utilizados en Latinoamérica, según Herrera (2010), son: “Rhinocero 3D”, “Grasshopper 3D” y *add-ons*. “Rhinoceros 3D” (o “Rhino”), fabricado por McNeel, utiliza la programación del tipo *VBScript* en su modalidad *Rhinoscripting*. La principal característica por la cual se coloca entre los más utilizados es por ser de código abierto, por lo tanto, en constante expansión y mejoramiento por parte de la comunidad de desarrolladores.

En esta investigación se pone en perspectiva la experiencia digital latinoamericana de los últimos cuatro años bajo el concepto de disrupción, buscando patrones de preferencia para el tipo de tecnología que se ha usado en talleres de arquitectura latinoamericanos.

“Rhino” convive con diferentes técnicas para abordar la representación y diseño de modelos. En el 2008, la versión 4.0 de “Rhino” incorpora el *plugin* “Grasshopper 3D”, desarrollado por David Rutten, para facilitar la construcción de relaciones lógicas y matemáticas en función de un árbol que asocia variables hacia componentes, parametrizando para un mayor control sobre cada modelo. Este *plugin*, además, permite adicionarle extensiones desarrolladas por los usuarios para facilitar el proceso a los usuarios.

Según Herrera (2010), esta aplicación resume tres formas de resolver un modelado: 1. utilizando la interfaz de usuario con base en técnicas interactivas para dibujar uno o varios resultados; 2. a través de componentes y variables

para controlar la “historia” del objeto con “Grasshopper 3D”; y 3. escribir línea por línea el problema, utilizando un vocabulario y una gramática propia de la aplicación.

Hacia una taxonomía posible

Existen intentos de clasificación y este trabajo revisa muchos de estos. Además se propone uno nuevo que contemple las extensiones más relevantes de modelado paramétrico desarrolladas para “Grasshopper 3D”.

En esta vía de clasificación no se pueden ignorar referentes históricos de diseños de información cuyos trabajos han sido fundantes; sus teorías son la base para muchas de las técnicas de presentación gráfica, estadísticas y sistemas dinámicos que presentaremos a continuación. Ellos son: Fra Mauro, su Mapamundi es considerado una de las mejores cartografías medievales, (entre 1457 y 1459); Descartes y su libro “Geometrie” (1637), que presenta a las coordenadas cartesianas que desde entonces se han utilizado en ciencias, matemática, técnica e informática; Michael Van Langren fue el primero en realizar mediciones terrestres por medio de la observación y mapeo de la luna (1644); Joseph Priestley fue el inventor de la línea de tiempo (1765); William Playfair desarrolló los gráficos circulares y de barra; John Dalton, y su modelo del átomo (1808); Minard, por su gráfico de las invasiones y retiradas del ejército de Napoleón en Rusia elaboró (1869); Henry Gantt, que elaboró el diagrama que llevará su nombre para planificar los tiempos industriales (1911); Herzprung-Russel, que agrega la dimensión cromática para el estudio de la luminosidad de las estrellas (1913); Otto Neurath, y sus representaciones como sistema de pictogramas (1924).

En la actualidad podemos nombrar los trabajos teóricos de Richard Wurman, Nigel Holmes y Edward Tufte; Shneiderman y sus mapas de árbol (*treemap*); los diseños de Mackinlay para el concepto de *Information Visualization*; Munzner y sus estudios de fundamentos de los gráficos; las imágenes virtuales de enjambres y cuadrículas de John Simon Jr.; Tim Berners-Lee, el inventor de la *World Wide Web*, que desde su creación no detiene su expansión. En el mundo del periodismo: Alejandro Malofiej, Peter Sullivan, Amanda Cox, Mario Tascón, Jordi Català, Jeff Goertzen, Rafael Hörh, Chiqui Esteban, Tomás Alhambra, Xaquín González, Juan Pablo Noriega, Jaime Serra Palou (Serra, 2010), Alberto Cairo, entre otros. Todos ellos han elaborado buenas propuestas de visualización de información, con o sin la informática como apoyo. Para futuros avances en la investigación se buscará una simplificación de mayores referentes, a los fines de esta ponencia describiré el Catálogo

desarrollado por Severino Ribeca con fundamentos de Camavilca Rodriguez, Jimenez Merino (2008), Wilke (2019) y Costa (2019).

El Catálogo de Visualización de Datos es un sitio web realizado por Severino Ribeca que nace a partir de la investigación en visualización de datos; enumera sesenta categorías de técnicas detallando los tipos de datos que permite mostrar cada técnica y su contexto de aplicación. Las sesenta categorías de técnicas enumeradas están agrupadas en cinco grupos, A. Gráficos; B. Diagramas; C. Tablas; D. Mapas; y E. Otras. Los gráficos son aquellos que muestra el desarrollo de valores cualitativos trazando sus variables en una cuadrícula de coordenadas cartesianas. Los Diagramas en general buscan mostrar conexiones e interrelaciones entre las partes. Las Tablas separan la información entre celdas horizontales y verticales. Los Mapas sirven para comparar proporciones en áreas geográficas. En Otras se agrupan todas aquellas técnicas que no tienen encuentran una similitud gráfica con ninguna de las anteriores, pero no dejan de tener un uso significativo en la materia, como por ejemplo los gráficos de tortas.

Dentro de estas agrupaciones se enumeran distintas técnicas. En el grupo de los gráficos (también parcelas) se reúnen: A1. Gráfico de área; A2. Gráfico de barras; A3. Diagrama de caja; A4. Gráfico de burbujas; A5. Gráfico de viñetas; A6. Gráfico de velas; A7. Gráfico de densidad; A8. Barras de error; A9. Carta Kagi; A10. Gráfico de líneas; A11. Gráfico de Marimekko; A12. Gráfico de barras de conjuntos múltiples; A13. Gráfico OHLC; A14. Gráfico de coordenadas paralelas; A15. Gráfico de puntos y figuras; A16. Pirámide de población; A17. Carta de radar; A18. Gráfico de barras radiales; A19. Gráfico de columnas radiales; A20. Gráfico de dispersión; A21. Gráfico de alcance; A22. Parcela espiral; A23. Gráfico de áreas apiladas; A24. Gráfico de barras apiladas; A25. Gráfico de flujo; y A26. Trama de violín. Dentro del grupo de diagramas se asocian: B1. Diagrama de arco; B2. *Brainstorm*; B3. Diagrama de acordes; B4. Diagrama de flujo; B5. Diagrama de ilustración; B6. Diagrama de red; B7. Diagrama de acordes sin cinta; B8. Diagrama de Sankey; B9. Línea de tiempo; B10. Diagrama de árbol; y B11. Diagrama de Venn. Bajo la denominación de Tablas se agrupan: C1. Calendario; C2. Tabla de Gantt; C3. Tabla de calor; C4. Tabla de tallo y hojas; C5. Tabla de conteo; y C6. Tabla de horarios. En Mapas: D1. Mapa de burbujas; D2. Mapa coroplético; D3. Mapa de conexión; D4. Mapa de puntos; y D5. Mapa de Flujo. Por último, en el grupo de Otras se reúnen: E1. *Circle Packing*; E2. Gráfico de anillos; E3. Matriz de puntos; E4. Gráfico de Coxbomb; E5. Conjuntos paralelos; E6. Gráfico con pictogramas; E7. Gráfico de tortas; E8. Gráfico de área proporcional; E9.

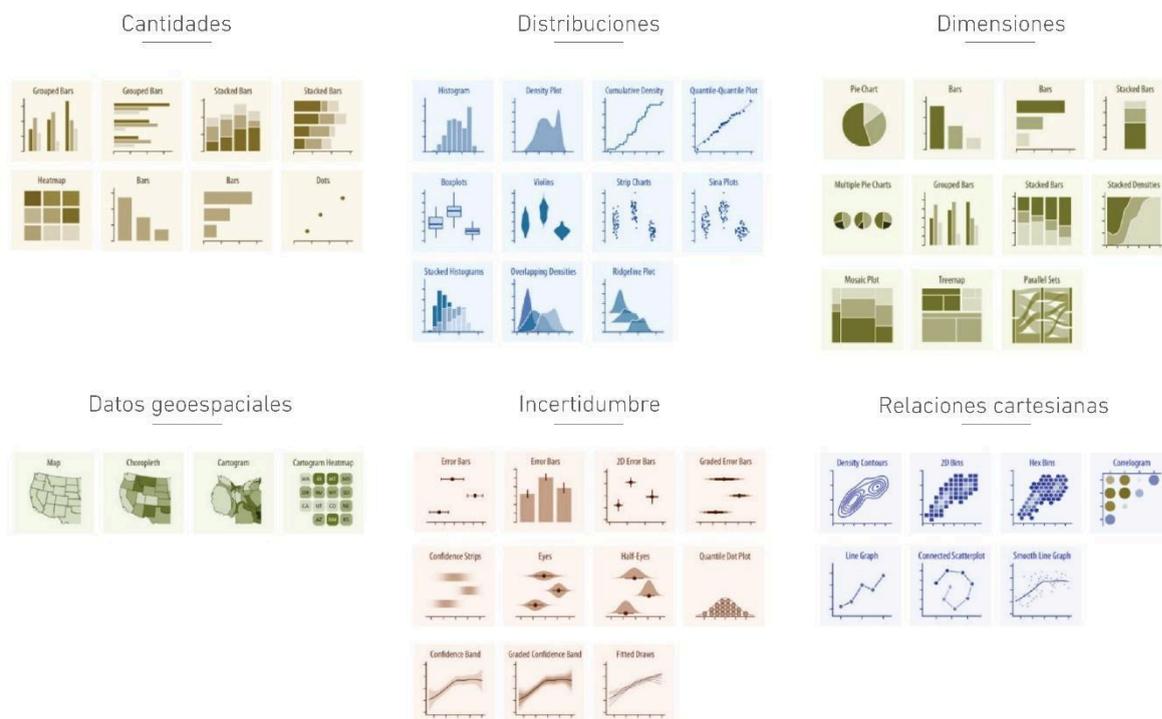
Diagrama de rayos solares; E10. *Treemap*; y E11. Nube de palabras o etiquetas.

Para Costa (1998) es posible plantear cualidades básicas para usar como guía para categorizar esquemas, con grafos de “abstracción-iconicidad”, “información-redundancia”, “inteligibilidad-complejidad”, y “semántica-estética”. Además, la lógica constructiva de cualquier visualización de información en forma de esquema puede explicarse mediante el concepto de “estructura” y “subestructura”. El autor denomina a las segundas como patrones que subyacen al esquema mismo y sobre el cual este se organiza; sobre esa subestructura se sitúan los grupos de figuras formando la estructura. Costa (2019) resume las principales subestructuras de fenómenos en 8 familias: Arborescentes; Radiales; Reticulares; En racimos; Rectangulares; Iterativas; Semánticas; Fractales (basados en principios de duplicación ilimitada y conceptos matemáticos de Benoit Mandelbrot en 1875, aproximada a la familia de racimos).

Las autoras Camavilca Rodríguez y Jiménez Merino (2008) realizaron un trabajo alrededor de estas técnicas con la finalidad de investigar herramientas de *Business Intelligence* y *Data Visualization*. En su trabajo, destraman las técnicas separándolas en lineamientos según su uso y diseño, de este modo las agrupan bajo siete enfoques: relación, comparación, distribución, patrones, tendencia y composición.

Por otra parte, Wilke (2019) realiza un directorio descriptivo de visualizaciones alrededor de estas técnicas y las agrupa según: A. Cantidad; B. Distribución; C. Ejes cartesianos; D. Dimensión; E. Datos Geoespaciales y F. Incertidumbre (Figura 1).

Figura 1. Iconografías del directorio de visualizaciones de Wilke



Fuente: *Fundamentals of Data Visualization* de Claus Wilke, 2019.

Otras categorías de interés que podemos destacar son las de Sanco, Dominquez y Ochoa (2014), que realizaron una clasificación según visualización de tipo: espacial, tabular, posicional, topográfica, teledinámica, de arrastre interactivo, de identidad aumentada y miscelánea. Córdoba Cely y Alatraste Martínez (2012) proponen tres dimensiones de estudio: sintaxis orientada a los datos, semántica orientada a la información, y pragmática orientada a la interacción.

Catalogación de extensiones paramétricas

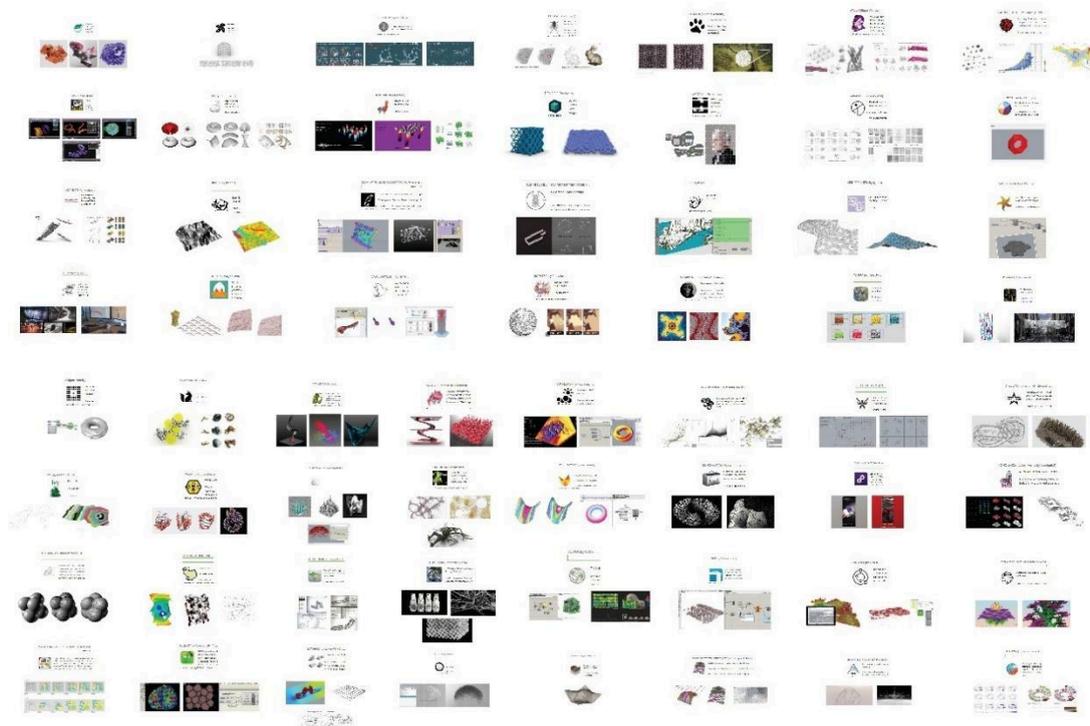
Las extensiones o accesorios (*add-ons*) agregados que la comunidad desarrolla para el “Grasshopper 3D” potencian las capacidades del programa, sumándole funciones específicas, intuitivas y de exploración paramétrica que el *software* original no posee. Entre los accesorios más conocidos destacan: “Kangaroo”, que viene incorporado en las últimas versiones del “Rhino3D” y realiza morfologías a partir de principios físicos; “Weaberbird”, que realiza

análisis topológicos de mallas; “Pachydem”, para simulaciones acústicas; “Mosquito”, que vincula con las redes sociales para extraer datos de los usuarios; “Firefly”, que integra el *software* con la placa Arduino para procesamientos robóticos (Kaled, 2016, p. 55).

Uno de los sitios más destacados que alimentan estas aplicaciones es “food4rhino”, que acumula 590 *add-ons* disponibles para descarga gratuita, al mes de julio de 2022. Estas extensiones pueden integrarse sin dificultad al “Grasshopper 3D” y, por ende, al “Rhino”. El sitio los ordena de manera prefijada según y cantidad de votos de mayor a menor. Para el presente *paper* se revisaron los primeros 100 puestos, resultando en una selección de 60 para su análisis y clasificación.

El corpus seleccionado para catalogación queda integrado por los siguientes: “Pupperfish” (de Ekimroyrp); “OpenNest” (de Petrasvestartas); “Heteroptera” (de Amin Bahrami); “Cockroach” (de Ibosepfl); “Scatter” (de Petrasvestartas); “Wallace” (de Wallacei); “Ladybug Tools”; “Grasshopper Gold” (de Taraskydon); “NGon” (de Petrasvestartas); “Alpaca4d” (de Alpaca4D); “Dendro” (de Ryein); “JAVID” (de Mahdiyar); “Parakeet” (de Parakeet3d); “RhinoPolyhedra” (de Dale Fugier); “Karamba3D”; “Bison” (de Bisonla); “Crow” (de Pennjamin); “Termine_Nest” (de Mohammad Tabari); “Elk” (de Tlogan); “SkinDesigner” (de Sgaray); “Starfish” (de Michael Weizmann); “Firefly” (de Andy Payne); “Duck” (de Wayne Yeh); “Swallow” (de Tary); “Rooster” (de Forest Hell); “Chimpanzee” (de Matouš Stieber); “Tundra” (de Miroljub); “Physarealm” (de Maajor); “CAI” (de Mahdiyar); “Fox” (de Petrasvestartas); “FlexHopper” (de Pennjamin); “AXOLOTL” (de Mathias Bernhard); “Sunflower solar” (de Rex Wang); “Octopus” (de Robert Vierlinger); “Biomorpher” (de Ab8jeh); “Stella3D” (de ParametricHouse); “IVY” (de Andrei Nejur); “Wasp” (de Andrea Rossi); “Anemone” (de Mateusz Zwierzycki); “Culebra” (de Luis Quinones); “Mesh Curvature” (de Petrasvestartas); “LunchBox” (de Nathan Miller); “Fologram”; “Monoceros” (de Jan Pernecky Subdigital); “Starling” (de Mateusz Zwierzycki); “Dodo” (de Lorenzo Greco); “Hummingbird” (de Mario Guttman); “Chromodoris” (de Camnewnham); “Voltox” (de CITA); “Heron” (de BrianWashburn); “Urbano” (de Timur); “PhylloMachine” (de Daniel González Abalde); “Magnetizing Floor Plan Generator” (de Hellguz); “BullAnt” (de GeometryGym); “EvoMass” (de Likai Wang); “Hoopsnake” (de Yconst); “Docofossor”; “Timber Plate Structures” (de Christopher Robeller); “3D Graphic Statics” (de Ognjen Graovac); y “Mr.Comfy” (de Space Sustainers).

Figura 2. Selección de 60 add-ons del sitio “food4rhino”



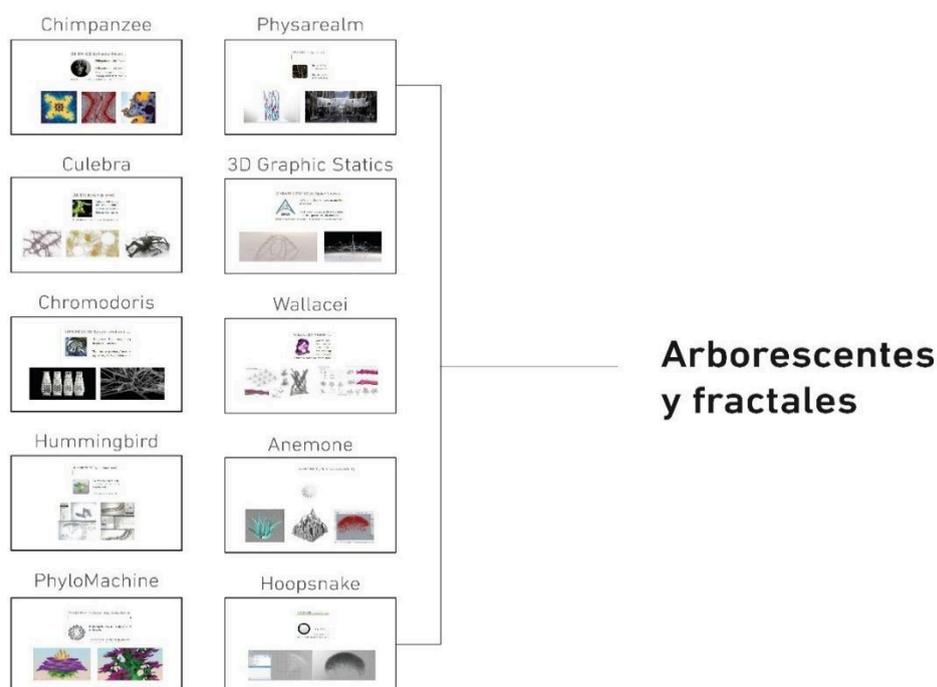
Fuente: elaborado por el autor.

Más allá de la taxonomía sobre esquematismo y las técnicas descritas hasta aquí, el objetivo general del proyecto en el cual se basa la ponencia es encontrar formas de analizar la parametrización en modelos que sirvan en circunstancias de problemáticas sociales complejas. Para ello, y como acercamiento inicial, proponemos una posibilidad de agrupamiento de las 60 extensiones enumeradas. Esta agrupación se desprende de la observación de tendencias de representación, geometrías tridimensionales repetidas y constantes en la distribución de valores. Proponemos 6 familias de agrupación con su respectivo desarrollo.

1. Arborescentes y fractales;
2. Conexiones, jerarquías y de relación cromática;
3. Reticulares y mallas;
4. Topográficas;
5. Interactivas y realidad aumentada;
6. Proximidad y distribución.

En el primer grupo se pueden reunir todos aquellos modelos que tienen una analogía con la figura del árbol, uno de los ideogramas más utilizados en la esquemática, y los fractales, estructuras geométricas fragmentadas que se repiten a diferentes escalas. La figura del árbol y su estructura ramificada representa en múltiples disciplinas la teoría de la bifurcación, la repetición indefinida desde múltiples aristas posibles, las cuales crecen hacia arriba o hacia adelante otorgándole una fuerza de progresión (Figura 3).

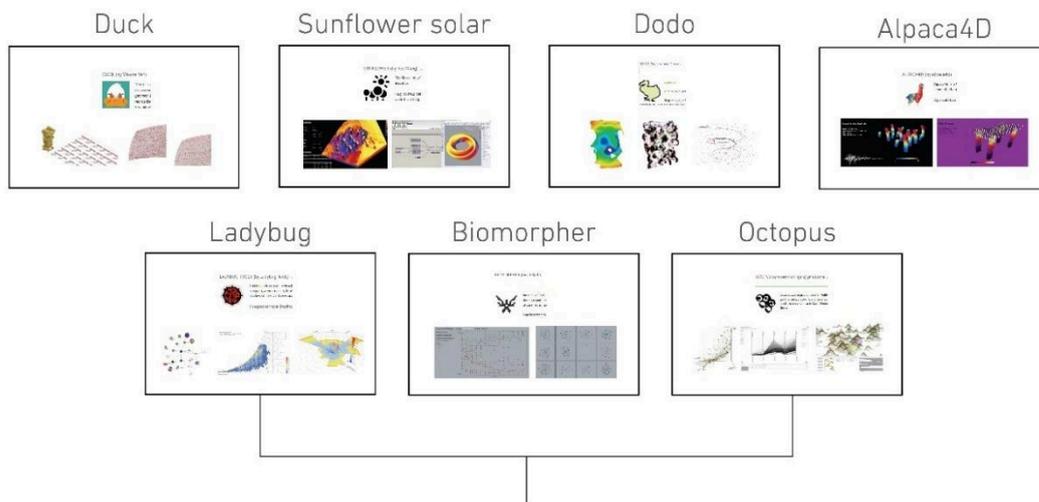
Figura 3. Primer grupo, arborescentes y fractales



Fuente: elaborado por el autor.

El segundo grupo funciona como un entramado y sistema de relaciones. Pueden ser de forma radial estrellada, polares y multidireccionales, sobre una tabla de ejes cartesianos o a través de barras y figuras ortogonales. Lo característico de este grupo es el sistema de nodos en los que confluyen y se expanden los elementos relacionándose unos con otros, por ejemplo, tablas numéricas, matrices combinatorias, cronogramas, histogramas, estereogramas, y demás. Un entramado de interrelaciones formadas a partir de parámetros específicos. Otra característica formal del grupo es el uso cromático en casos determinados; el mismo puede utilizarse como un medio para distinguir grupos de datos entre sí, para representar valores de datos y/o para resaltar (Figura 4).

Figura 4. Segundo grupo, conexiones, jerarquías y de relación cromática

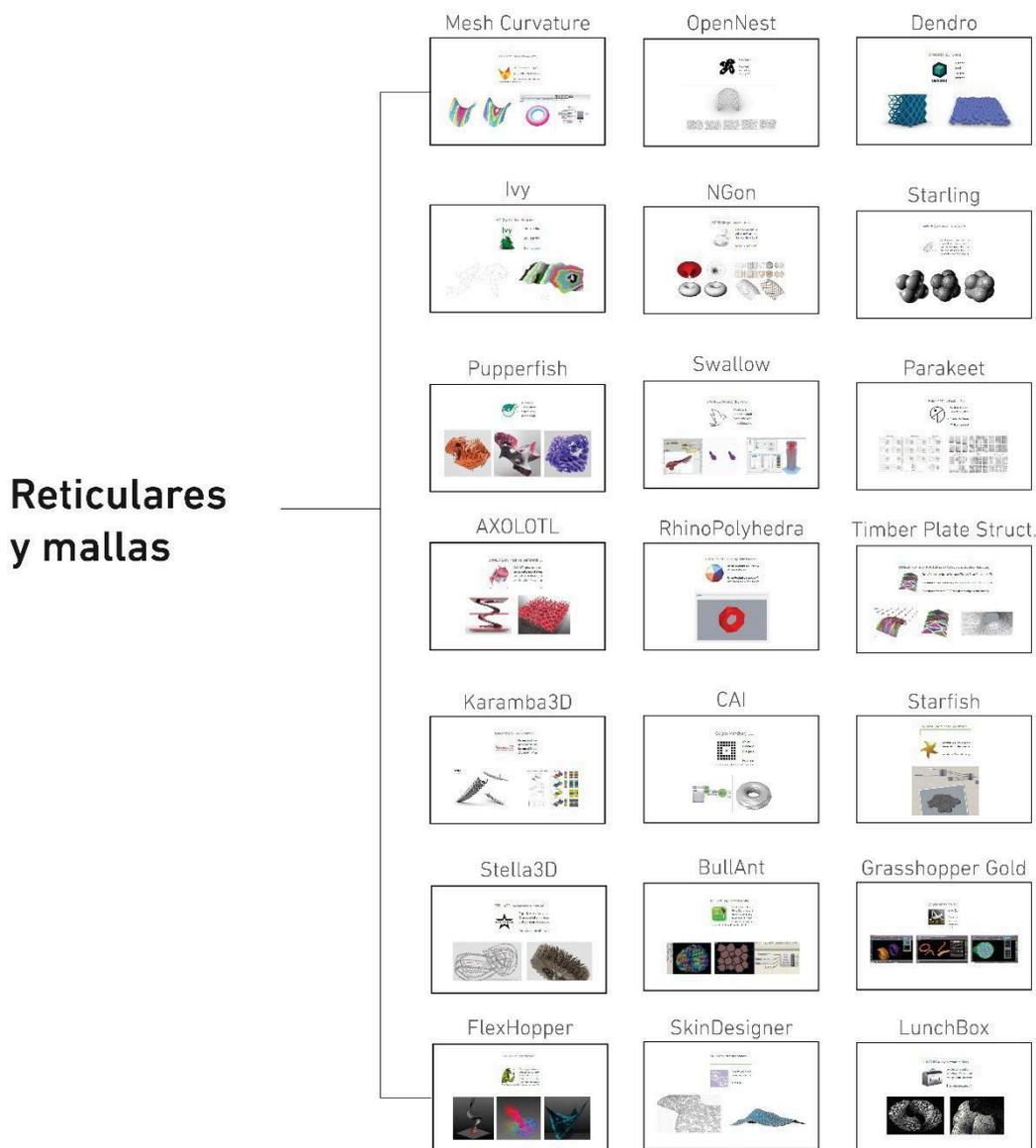


Conexiones, jerarquías y de relación cromática

Fuente: elaborado por el autor.

En una tercera agrupación se reúnen retículas de patrones, estructuras en forma de tejido, texturas morfológicas y parámetros para mallas tridimensionales. Utilizan principalmente parámetros y factores para entradas para un control más personalizado sobre operaciones como interpolaciones y cuadrículas (Figura 5).

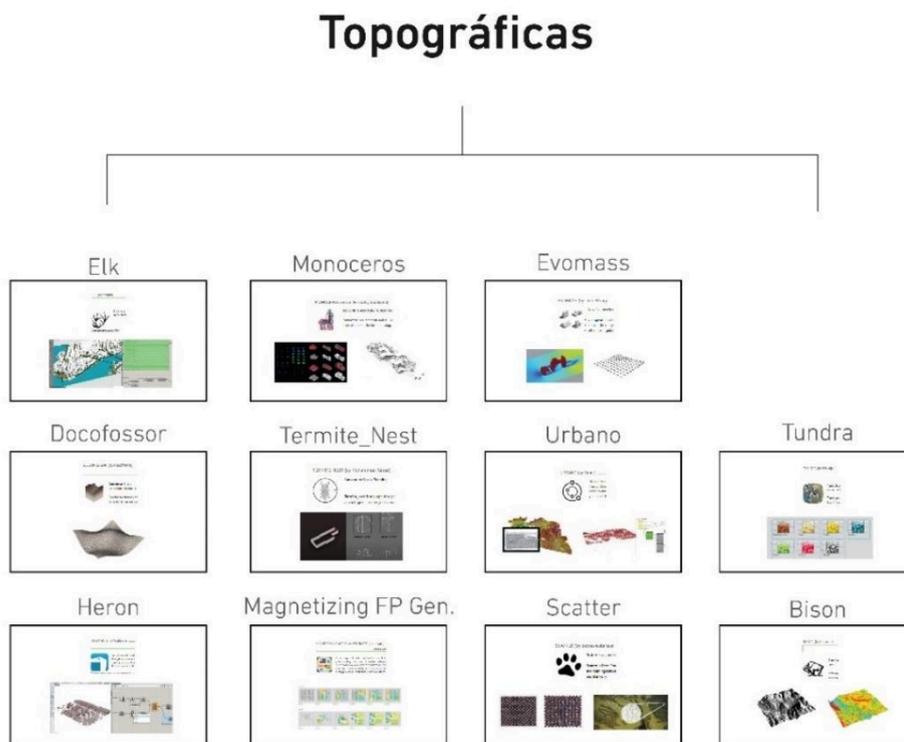
Figura 5. Tercer grupo, reticulares y mallas



Fuente: elaborado por el autor.

En el cuarto grupo se ubican las representaciones de territorios (mapas, planos, recintos). Pueden ser un soporte para la distribución de datos o figuras, con diversas propiedades multiescalares, anamórficas e interactivas. La escala es un parámetro importante, todos ellos con sus propias peculiaridades de representación. Algunos pretenden simular distancias, aunque la variable paramétrica no necesariamente es la métrica. Otros simplifican el aspecto morfológico de los territorios en formas geométricas tridimensionales (Figura 6).

Figura 6. Cuarto grupo, topográficas



Fuente: elaborado por el autor.

En el quinto grupo contamos tres aplicaciones del corpus. Adquieren esta denominación por proponer una parametrización con realidad aumentada e interactividad con otros dispositivos como son casos de “Fologram” que permite generar realidad mixta en “HoloLens”, el caso de “Firefly” que permite el flujo de datos entre el mundo real y físico vinculando con microprocesadores como Arduino, o censar estados ambientales en redes neuronales para el caso de Crow (Figura 7).

Figura 7. Quinto grupo, interactivas y realidad aumentada

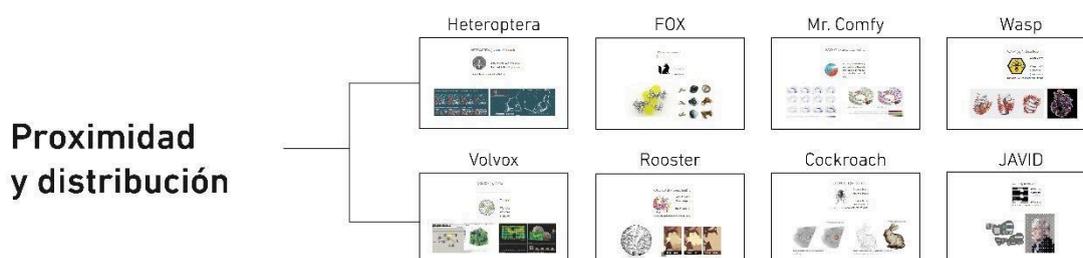
Interactivas y realidad aumentada



Fuente: elaborado por el autor.

El sexto y último grupo funciona con campos magnéticos nativos de la aplicación, generación de estructuras de proximidad que generan estructuras geométricas basadas en la multiplicación de líneas, puntos y formas; procesamiento y mallado de nubes de puntos; y representación de imágenes con distintas técnicas gráficas de repetición (Figura 8).

Figura 8. Sexto grupo, proximidad y distribución



Fuente: elaborado por el autor.

Reflexiones preliminares

La preparación de esta ponencia permitió realizar una primera aproximación entre modelos paramétricos con técnicas utilizadas por la esquemática, la

visualización de datos y el diseño de información. Además, posibilitó la distinción de una primera clasificación de agrupaciones del corpus de extensiones. En un nivel cuantitativo el agrupamiento demostró la abundancia de extensiones dedicadas a la formación de retículas y mallas; y las de menor proporción fueron las de vinculación con microprocesadores, sensores y realidad aumentada, seguramente por la complejidad de su desarrollo. En próximos desarrollos del proyecto se avanzará la investigación hacia modelos paramétricos que permitan representar y permitir analizar indicadores de problemáticas sociales, específicamente del ámbito de la educación secundaria, en el conurbano de Buenos Aires.

Bibliografía

Brander, E. (2016). Preguntas Provocativas: Proyecto Dreamcatcher. Video de Youtube. Recuperado el 29/04/2022 de <https://www.youtube.com/watch?v=mYjqECfWflo>

Brandt, J. (2015). Citado en: Rhodes, M. (2015): El birazzo futuro con apariencia huesuda del diseño algorítmico. Revista *Wired*. Recuperado el 29/04/2022 de <https://www.wired.com/2015/09/bizarre-bony-looking-future-algorithmic-design/>

Camavilca Rodríguez, A. V. y Jimenez Merino, J. A. (2018). *Lineamientos de uso y diseño para soluciones de data visualization. Memoria del Proyecto Profesional para la obtención del Título Profesional de Ingeniero en Sistemas de Información*. Facultad de Ingeniería. Recuperado el 29/04/2022 de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/623027/Jimenez_MJ.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Córdoba Cely, C. y Alatríste Martínez, Y. (2012). Hacia una taxonomía de investigación entre Visualización de Información y Diseño. *Revista No solo Usabilidad*. Recuperado de https://www.nosolousabilidad.com/articulos/taxonomia_visualizacion.htm#sthash.PdeMC87A.dpuf

Costa, J. (1998). *La esquemática. Visualizar la información*. Barcelona, Paidós.

Costa, J. (2019). *Esquematismo. La eficacia de la simplicidad. Teoría informacional del esquema*. Madrid: Experimenta Editorial.

Dalla Costa, M. (2014). *Sistemas generativos dinámicos*. Tesis de maestría. Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, Argentina. Recuperado el 29/04/2022 de: https://www.researchgate.net/profile/Matias_Dalla_Costa2/publication/2804938

[00_SISTEMAS_GENERATIVOS_DINAMICOS ESTRATEGIAS PROYECTUA
LES_PARAMETRICAS_SIMPLES_PARA_PRACTICAS_ARQUITECTONICAS
LOCALES/links/55b6888b08ae092e9656ed1e.pdf](#)

Fraile, M. (septiembre de 2012). El nuevo Paradigma Contemporáneo. Del diseño paramétrico a la morfogénesis digital. *Memorias de las XXVI Jornadas de Investigación. VIII Encuentro Regional SI+PI Proyecto Integrar, de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, de la Universidad de Buenos Aires*. Argentina.

Herrera, P. (2010). *Tecnologías disruptivas: programación y fabricación en Latinoamérica*. XIV Congreso de la Sociedad de Gráfica Digital (SiGraDi), Bogotá, Colombia, 17 al 19 de noviembre, pp. 213-216.

Kaled, M. A. (2016). *Aproximaciones al diseño generativo y su aplicación en el diseño industrial*. [Trabajo final de grado]. Buenos Aires: Universidad de Palermo.

Ribbecca, S. (s/f). *The Data Visualisation Catalogue*. Recuperado el 29/04/2022 de <https://datavizcatalogue.com/index.html>

Serra, J. (2010). *Una paradoja dominical*. Barcelona: Ediciones de La Vanguardia.

Valero Sancho, J. L., Català Domínguez, J. y Marín Ochoa, B. E. (2014). *Aproximación a una taxonomía de la visualización de datos*. *Revista Latina de Comunicación Social*, 69, pp. 486-507. Recuperado de http://www.revistalatinacs.org/069/paper/1021_UAB/24es.html
DOI: [10.4185/RLCS-2014-1021](https://doi.org/10.4185/RLCS-2014-1021)

Wilke, C. O. (2019). *Fundamentals of Data Visualization. A primer on Making Informative and Compelling Figures*. United States of America: O'Reilly.