

Parametric design of multipurpose 3d-printed walls based on Roberto Matta's drawings

Tomás Acuña¹, Martín Avendaño¹, Rodrigo García-Alvarado¹, Pablo Banda¹
Pedro Soza²

¹ Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
tomas.acuna1801@alumnos.ubiobio.cl; maraloaven@gmail.com; rgarcia@ubiobio.cl;
pablo.banda2001@alumnos.ubiobio.cl
² Universidad de Chile, Santiago, Chile, psoza@uchile.cl

Abstract. A research and workflow are presented for the parametric design and 3D printing of multipurpose walls, based on illustrations of residential environments made by the Chilean surrealist painter Roberto Matta. These drawings present walls with different shapes and associated uses that expand the housing experiences and suggest relaxed and suggestive spaces. The work analyzes the formal variations and different types of elements that can be included in the design of walls, as well as different textures and ribs that can be incorporated into the walls for their appearance and structural integrity. Possibilities are reviewed for the efficient design and execution of complex shapes using parametric procedures for 3D printing. Determining a generative capacity with high functional and expressive versatility, and construction feasibility.

Keywords: Parametric Design, 3d-printing, Wall, Surrealism, Roberto Matta.

1 Introducción

El surrealismo fue una corriente artística de principios del siglo XX que promovió el inconsciente como una realidad superior, expresado en la imaginación y los sueños (Duplessis, 1972; Morales, 2020). El arquitecto chileno Roberto Matta comenzó a participar en el movimiento surrealista mientras trabajaba en París en los grandes proyectos urbanos de Le Corbusier (Le Corbusier, 1933; Le Corbusier y Jeanneret, 1945). En ese periodo, Matta realizó también dibujos de ambientes residenciales que contienen trazados de muros regulares y curvilíneos que dividen espacios amplios, e integran elementos de formas orgánicas y funciones diversas, como bancas, vanos, repisas, etc. (Matta, 1938; Constructo, 2012; Sarovic, 2013) (Fig. 1). La variabilidad espacial y geométrica presente en su obra sugiere una

aproximación sensible a la arquitectura, creando entornos evocadores (Matta y Guattari, 1991; Ozerkov y Salamatina, 2019).

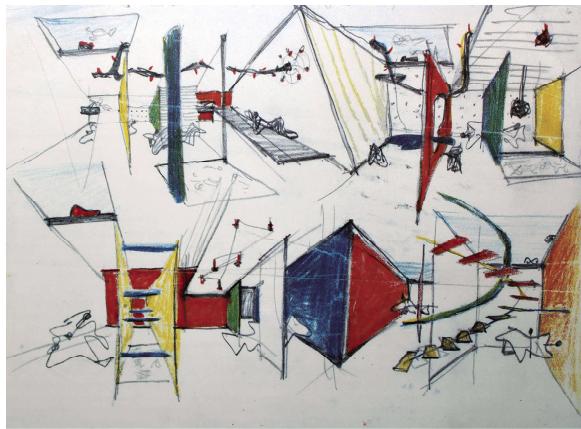


Figura 1. Dibujos residenciales de Roberto Matta. Fuente: Ferrari, 1987.

Los muros constituyen el elemento arquitectónico primordial para conformar espacios y edificaciones. La mayoría de los diseños arquitectónicos conciben la organización planimétrica de los muros como ejes ortogonales con altura regular. Por otro lado, el diseño paramétrico permite abordar una modelación de los volúmenes, controlando la forma geométrica y generando distintas variaciones (Woodbury, 2010; Gürsel, 2012 Agkathidis, 2015). Además de elaborar directamente información para ejecutar los elementos, especialmente a través de máquinas automatizadas, como cortadoras o impresoras-3d (Sakamoto, 2007; Reas y Mc Williams, 2010; Jabi 2013).

A su vez, la construcción impresa-3d o aditiva es la capacidad de ejecutar elementos arquitectónicos, mediante la deposición de material (Labbonote, 2016; Teixeira et al, 2022). Este procedimiento se basa en la definición de una trayectoria de impresión que debe asegurar su continuidad y estabilidad, permitiendo una gran versatilidad formal. Mediante diseño paramétrico se puede definir trayectorias, pero se deben asumir condiciones materiales que permitan su factibilidad de ejecución (Ghaffar et al, 2018) (Fig. 2).



Figura 2. Ejemplos de Muros Impresos-3d. Fuente: P. Banda, CITEC, Universidad del Bío-Bío, 2022.

Este trabajo propone un flujo de diseño paramétrico e impresión-3D de muros multipropósito inspirados en las ilustraciones de ambientes residenciales de Roberto Matta. Se exploran variaciones formales, texturas y nervaduras para lograr la apariencia deseada y la integridad estructural de los muros. Se emplean técnicas paramétricas para el diseño y ejecución eficiente de formas complejas y garantizar la factibilidad de impresión-3D (Labonnotte, N. et al, 2016). Esta técnica es adecuada para crear muros complejos, difícilmente alcanzables con métodos de construcción tradicionales.

2 Metodología

2.1 Flujo de trabajo

El estudio se basó en la restitución perspectiva de las ilustraciones de Matta, que permitió determinar el repertorio de formas superficiales de los muros, y luego se realizó una interpretación paramétrica mediante una malla con vértices de posición variable, implementada en diseño paramétrico a través de Grasshopper de Rhinoceros. Utilizando un flujo de trabajo para la impresión de muros utilizando hormigón u otros materiales. Este proceso se divide en varias etapas que abarcan desde la forma básica del muro y la variación de los parámetros de sus elementos (Fig. 3), garantizando la eficiencia del proceso, la diversidad y factibilidad de los diseños resultantes.

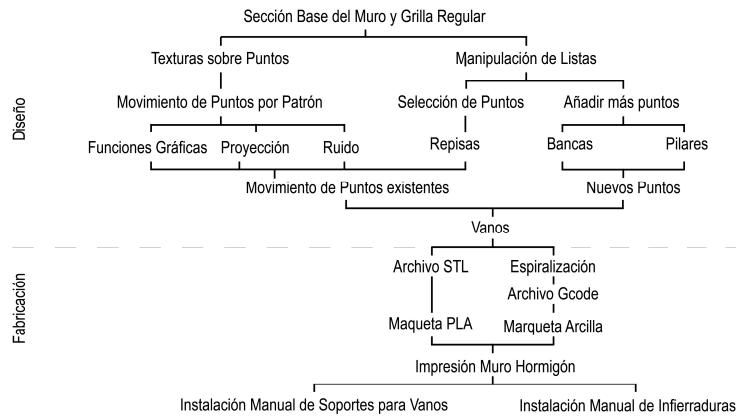


Figura 3. Diagrama del flujo de trabajo utilizado para el diseño paramétrico e impresión de los muros. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Este proceso permite generar muros con pilares, vanos, dinteles, soportes, texturas, asientos y repisas, mediante la traslación de puntos que marcan el recorrido de la impresión, requiriendo un orden estricto en la ubicación de las listas de puntos. También se establecen las condiciones de soporte para los elementos incorporados, tales como formas, dimensiones e inclinaciones recomendadas.

2.2 Interpretación de elementos y perspectiva

Es importante destacar que la programación de estos elementos y la traducción a la impresión-3D debe basarse en una interpretación de las características de los elementos en las ilustraciones de Matta, tales como forma, textura, ángulos y salientes. Para esto fue necesaria la categorización de los elementos reconocibles como muros dentro de las ilustraciones para luego aplicar el proceso de restitución de perspectiva e interpretación paramétrica para capturar los repertorios de formas superficiales de los muros encontrados en la obra de Matta.

La restitución de perspectiva permitió trazar los planos de planta de las ilustraciones (Fig. 4), pudiendo así dimensionar las formas y distancias existentes entre los elementos dentro de cada ilustración, identificando con esto distintas áreas dentro del dibujo y los ejes compositivos que ordenan los distintos objetos para una eventual recomposición.

Al implementar una malla con vértices de posición variable, se pudo lograr una aproximación a la geometría de sus diseños (Fig.5), logrando concordar la imprecisión inherente de la libertad artística con la precisión geométrica

requerida por el diseño paramétrico y la materialización arquitectónica de la impresión-3D.

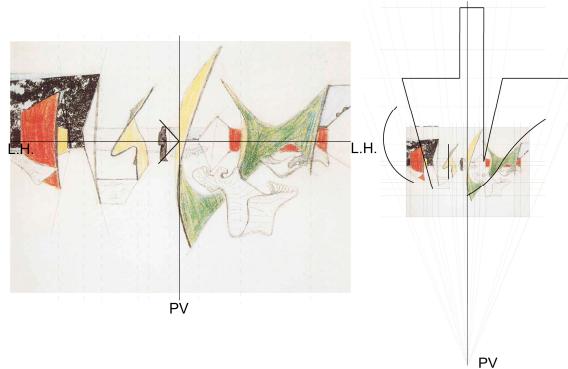


Figura 4. Proceso de restitución de perspectiva de los elementos identificables dentro de una ilustración de Roberto Matta, Fuente: Elaboración propia, 2022.

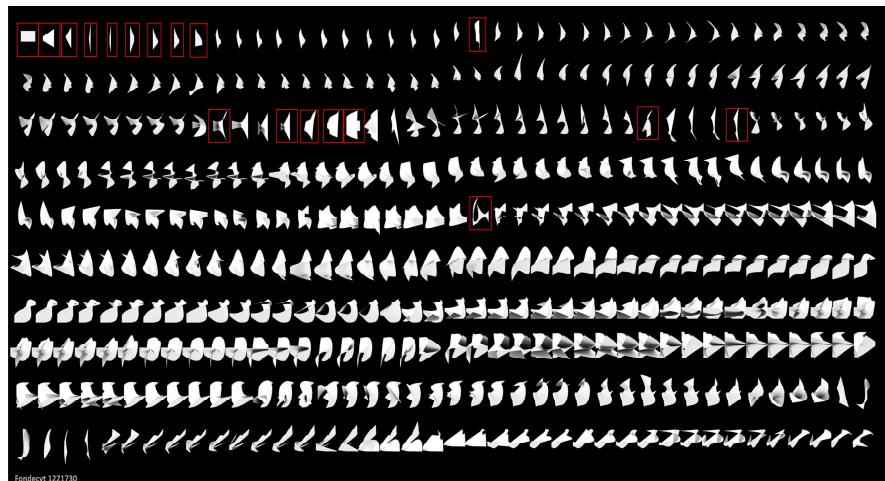


Figura 5. Catálogo de muros generados paramétricamente a partir de figuras identificados en las ilustraciones de Matta (rojo). Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.3 Generación de la malla del muro

Para la generación del recorrido de impresión compuesto por puntos, el método utilizado se basa en una malla tridimensional regular de puntos, la cual puede ser generada por medio de la multiplicación de una base en el eje

vertical. Sobre esta malla regular se realizan todas las operaciones de traslación y adición de puntos.

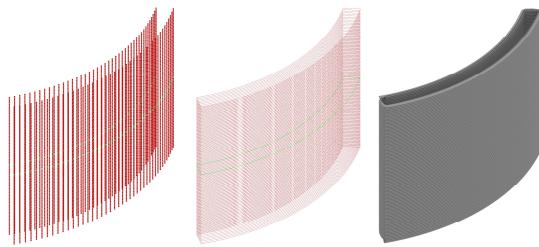


Figura 6. Generación de malla regular de puntos que representan el recorrido de impresión de un muro. Fuente: Elaboración propia, 2022.

En este caso, el muro utilizado en cada diseño y exploración se encuentra conformado por 100 capas o niveles (Fig.6). Cada una de estas capas tiene una separación de 12 mm de alto con respecto a la capa inmediatamente superior e inferior. Además, cada nivel del muro está compuesto por un total de 40 puntos, permitiendo una resolución suficiente en la impresión de texturas. El ancho del muro es de 30 cm.

2.4 Traslación de la malla del muro

Se aplican distintas operaciones de traslación para modificar la posición de los puntos en el espacio tridimensional. En relación a las texturas, estas son generadas por traslación de los puntos en su posición horizontal mediante patrones en la dirección y magnitud de sus vectores de movimiento, estos patrones pueden ser producto de funciones tales como las sinusoidales y ruido Perlin, o la proyección de superficies y volúmenes para generar geometrías similares a las de volúmenes preexistentes.

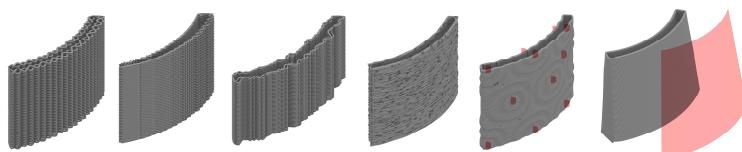


Figura 7. Tipos de textura, patrones y proyecciones geométricas aplicadas a listas de puntos.

En cuanto a la traslación de puntos para generar asientos y repisas, se implementó una definición para seleccionar puntos y listas dentro de la malla de puntos (Fig.7). Luego, se calcula el eje perpendicular de cada punto con respecto a la superficie del muro, el que resulta en la dirección de movimiento de su respectivo punto.

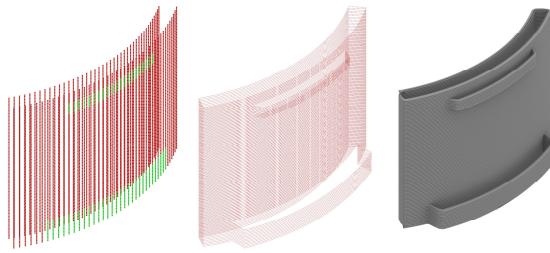


Figura 8. Traslación de puntos de acuerdo a vectores normales bajo una magnitud homogénea. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Al realizar la traslación, se desocupa la ubicación original del punto trasladado, lo que puede ser un inconveniente para las salientes ubicadas en la base del muro, en tal caso se recomienda omitir el traslado de puntos para utilizar un método de adición de puntos, en el que las salientes son generadas sólo mediante puntos nuevos (Fig. 8). También se puede utilizar patrones para la variación gradual de la magnitud de los vectores. Este método resulta útil para generar ménsulas para las repisas y proveerlas de mayor estabilidad. Es posible generar patrones complejos mediante la variación de las magnitudes a partir de funciones gráficas de mapeo (Bézier, cónica, gaussiana, lineal, etc.), estas son aplicables tanto vertical como horizontalmente y son combinables entre sí (Fig.9).

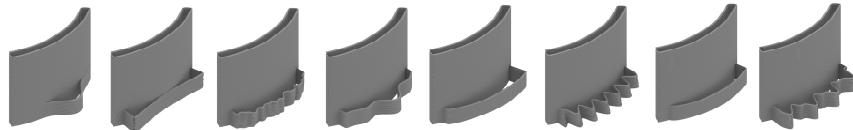


Figura 9. Traslaciones resultantes de las distintas funciones para generar salientes de tipo asiento. Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.5 Adición de geometrías en la malla del muro

En relación a la adición de nuevos puntos para añadir apoyos y soportes. Se debe definir inicialmente la geometría del pilar, determinando los puntos que tracen su base en el orden correcto, para luego añadirlos en las posiciones requeridas entre los puntos existentes del muro (Fig. 10).

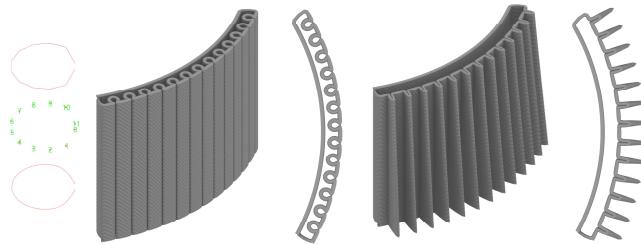


Figura 10. Estructuras añadidas mediante nuevos puntos: pilares internos y pilares externos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Se desarrollaron diversos tipos de pilares incorporados al muro, tales como columnas independientes con sección en forma de U, y variaciones concatenables, como los pilares con bordes en forma de M y W (IAAC & WASP, 2019). Estos elementos proporcionan apoyo tanto interno como externo al muro. Además, es posible variar su forma, usando bases de mayor superficie que su parte superior, generando un soporte más estable.

La misma lógica de adición de puntos es aplicada para la incorporación de asientos y retículas en el interior del muro, lo que brinda una superficie de apoyo adicional. Estas retículas pueden tener patrones sinusoidales, cuadradas, en zigzag y otras formas (Fig. 11).

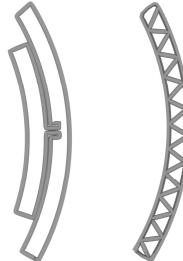


Figura 11. Adición de nuevos puntos para conformar un asiento (izquierda), y retícula que entrega soporte interior al muro (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2022.

2.6 Exclusión de puntos en la malla del muro

La generación de vanos en el muro se logra eliminando puntos de trayectoria en el área donde se ubica el vano (Fig. 12). El orden de los puntos consiste en imprimir un lado del vano hasta su altura completa, y una vez completado, continuar con el otro lado del vano desde su base (Teixeira, J. et al, 2022). En el caso de tener un dintel, es recomendable que los vanos tengan

forma triangular o lados inclinados para distribuir las cargas del dintel y evitar inclinaciones pronunciadas entre capas o superficies extensas sin apoyo.

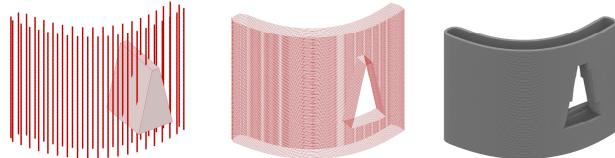


Figura 12. Eliminación de puntos de acuerdo al negativo del vano triangular y comparación entre orden correcto de impresión de los puntos. Fuente: Elaboración propia, 2022.

3 Resultados

Se realizó una maqueta a partir de la restitución de perspectiva de la ilustración de Matta, para esto se imprimieron en resina los muros interpretados paramétricamente (Fig. 13). Con esto se pudo comprobar tangiblemente que la sistematización paramétrica de la restitución de perspectiva y generación de muros se aproxima a la interpretación de la ilustración y a la sensación espacial del ambiente.

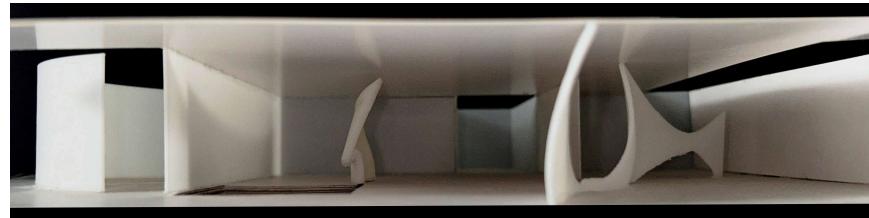


Figura 13. Maqueta impresa a partir de la generación paramétrica de los muros de los dibujos de Roberto Matta. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Posteriormente se hicieron pruebas de impresión-3D en resina de los muros que fueron diseñados a partir del flujo de trabajo de manipulación del recorrido de impresión y las listas de puntos. Estos diseños poseen bancas, repisas y vanos con lados inclinados y textura sinusoidal horizontal en ambas fachadas.

A la hora de imprimir los dos primeros muros en resina, por estabilidad fue necesario añadir un soporte interno ficticio en el modelo tridimensional (externo al recorrido de impresión), esto evidenció la necesidad de que la generación de asientos en la base fuera por adición de nuevos puntos y no por desplazamiento de los puntos originales (Fig.14).



Figura 14. Primera prueba de impresión 3D de muro texturado a escala con vano, repisa y asientos (izquierda). Segunda prueba de impresión-3D de muro con soporte interno en la base (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para el segundo muro se desarrolló un asiento en su fachada cóncava. Este asiento tiene una forma guiada por patrones de funciones de mapeo, generando entrantes y salientes de forma variada.

Para el diseño del muro de la tercera prueba de impresión, se incluyeron pilares internos con forma de U (Fig. 15). Además, se intercalaron pilares con forma de M, los que destacan por tener su base extendida. Esta ampliación de la base contribuye a la estabilidad del muro y ofrece la posibilidad de ubicar asientos.

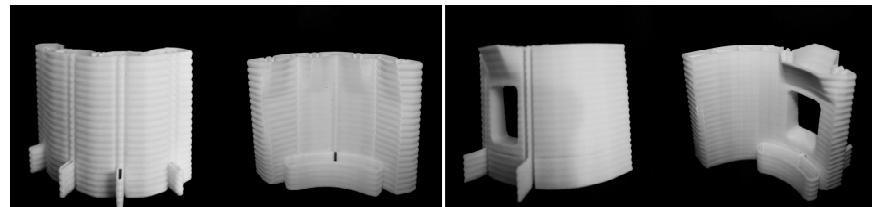


Figura 15. Tercera prueba de impresión 3D de modelo de muro con dos tipos distintos de pilares intercalados (izquierda). Cuarta prueba de impresión 3D de modelo de muro con pilares con saliente y vano con repisa superior (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2023.

Finalmente, en el diseño del muro de la cuarta prueba de impresión, se ubican pilares con forma de M cuya base se extiende hacia fuera del muro. Además, de un vano cuadrilátero y sobre el cual se ubica una repisa generada por la inclinación gradual de su dintel.

Estas producciones evidencian un equilibrio entre la libertad artística de la obra de Matta con la precisión y eficiencia de la tecnología de diseño paramétrico y la factibilidad de materializar en impresión-3D. Mediante un meticuloso proceso de restitución de perspectiva y el uso de mallas de puntos, se interpretaron los elementos de la obra, generando un repertorio diverso de elementos arquitectónicos. Estos elementos fueron la base para la rigurosa adaptación paramétrica de los muros multipropósito.

El diseño paramétrico demostró su versatilidad al permitir ajustar fácilmente características y obtener múltiples variaciones de muros para diferentes

necesidades arquitectónicas. Este enfoque resultó eficiente en tiempo y recursos, confirmando su viabilidad y aplicabilidad en proyectos de mayor escala. Además, la tecnología de impresión-3D demostró su capacidad para materializar formas complejas y elementos de diseño no convencionales.

Los resultados obtenidos resaltan el potencial del surrealismo de Matta como fuente de inspiración en la creación de muros multipropósito con una amplia variedad geométrica y funcional. Esta síntesis entre arte y tecnología abre nuevas perspectivas creativas y constructivas, destacando el potencial en la arquitectura innovadora.

Agradecimientos; este trabajado ha contado con el apoyo del proyecto ANID Fondecyt 1221730, de la Dirección de Postgrados de la Universidad del Bío-Bío y del CITEC UBB.

Referencias

- Afkathidis A. (2015). Generative Design: Form-finding Techniques in Architecture. Laurence King Publishing.
- Constructo (2012). Inscape: Matta Arquitecto, Centro de Exposición Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://constructo.cl/exposiciones/inscape-matta-arquitecto/>
- Duplessis Y. (1972). El Surrealismo. Ed. Oikos-Tan, Barcelona.
- Ferrari, G. (1987). Entretiens Morphologiques - Notebook No.1 1936-1944, London: Sistan Limited.
- Ghaffar, S.H., Corker, J., & Fan, M. (2018). Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. Autom. Constr. 2018.
- Gürsel Dino, İ. (2012). Creative design exploration by parametric generative systems in architecture. METU: JFA, 29(1), 207–224. Doi: 10.4305/METU.JFA.2012.1.12
- IAAC & WASP (2019). New 3D Printing Strategies Towards the Realisation of Load-bearing Earthen Structures.
- Jabi, W. (2013). Parametric design for architecture, London: Laurence King.
- Labonnotte, N., Ronnquist, A., Manum, B., & Ruther, P. (2016). Additive construction: State-of-the-art, challenges and opportunities. Autom. Constr. 2016, 72, 347–366
- Le Corbusier & Jeanneret, P. (1945). Le Corbusier & P. Jeanneret : oeuvre complete 1934 1938 (2a. ed.). Dr. H. Girsberger. pp 30-35.
- Le Corbusier (1933). Ville Radieuse, New York: The Orion Press.
- Matta, R., & Guattari, F. (1991). El “Oestrus”. Revista Estudios Públicos N°44, CEP, Santiago, Chile.
- Matta, R. (1938). Mathématique sensible – Architecture du temps, Minotaure. n°11, París. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1525979z/f48.item>

- Morales E. (2020). Arte Moderno, Vanguardia y Utopía. Ed. Universidad de Valparaíso, Chile.
- Ozerkov, D., & Oksana, S. (2019). Matta & the Fourth Dimension, Ed. Skira, Milan.
- Reas, C., & Mc Williams, C. (2010). Form+Code in Design, Art, and Architecture, LUST y Princeton Architectural Press, New York.
- Sakamoto, T. (2007). From Control to Design, Ed. Actar, Barcelona.
- Sarovic, M. (2013). Roberto Matta Echaurren. Arquitecto. Revista AOA (Asociación de Oficinas de Arquitectos Chile), no. 22, 22-41. Santiago, Chile.
- Teixeira, J., Ogliari, C., Rangel, B., Maia, L., & Lino, J. (2022). A road map to find in 3D printing a new design plasticity for construction – The state of art. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2022.10.00>
- Woodbury, R. (2010). Elements of parametric design, London: Routledge.