

# Diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño aplicado en conjuntos habitacionales.

**Estudiante:** Janis López Alvarado

**Profesor guía:** Pedro Soza Ruiz

Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

## Resumen

Esta investigación, a partir de la revisión de tres casos de estudio, explora el uso de diseño generativo (DG) basado en inteligencia artificial (IA) con miras a generar soluciones espaciales que optimicen y mejoren la organización espacial de las unidades habitacionales de vivienda social. Para ello se implementó un algoritmo de diseño generativo usando el plugin Galápagos en la interfaz de programación visual Grasshopper, el que permitió iterar y generar 150 soluciones de diseño. Tras establecer criterios de selección, usando principios de sintaxis espacial se evaluaron, también computacionalmente, las soluciones de diseño generadas por el algoritmo generativo. Finalmente se ofrece una discusión sobre las implicancias que el uso de estas tecnologías tiene para el desarrollo de la toma de decisión proyectual.

**Palabras clave:** Déficit habitacional, Diseño generativo, Sintaxis espacial

## 1. Introducción

El diseño generativo (DG) integra al proceso de diseño la inteligencia artificial (IA) mediante el uso de algoritmos evolutivos (Bentley, 1999). La IA es una tecnología que se puede definir desde la capacidad de imitar comportamiento inteligente, articulado por un humano (Winograd, Flores, 2002), siendo este un proceso de naturaleza cognitiva (Purcel & Gero, 2006).

Este concepto aplicado en arquitectura corresponde a un proceso de diseño iterativo (Vishal, Ning Gu, 2012), el que definiendo requisitos<sup>1</sup> y restricciones<sup>2</sup> puede alcanzar resultados novedosos abordando problemas donde la mente humana no logra generar una respuesta alternativa (Nagy, Villaggi, 2020). Las distintas variables que se ingresan al sistema se procesan y luego generan un set de soluciones posibles, que requieren de la evaluación por parte de un arquitecto/diseñador. La dimensión humana asociada a estos resultados -por ejemplo, la experiencia y la percepción- no son variables cuantificables, y se mantienen como trascendentes frente al acto de habitar.

---

<sup>1</sup> Se entiende como objetivos (vistas, ingreso de luz, baja distracción, interconectividad)

<sup>2</sup> Se entiende como parámetros (dimensiones, m<sup>2</sup>, cantidad de recintos)

Por lo tanto, el diseño generativo se presenta como una herramienta experimental que puede permitir dar respuesta a la evaluación del proceso de diseño de anteproyectos de viviendas colectivas, enfocado en la etapa inicial del proceso de diseño. En esta etapa, de formulación arquitectónica, se incorporan variables cualitativas, tales como las relaciones espaciales y su nivel de conectividad, ya que la configuración de espacios afecta directamente al habitante. Por ello es de importancia proponer diseños con estancias adecuadas y dimensiones proporcionadas, pensando en el uso habitual y las necesidades de cada usuario.

Esta investigación hipotetiza que el uso de diseño generativo permite explorar configuraciones espaciales, y posteriormente, evaluar con sintaxis espacial las redes de conectividad de una planta arquitectónica. El uso de estas tecnologías como herramienta de iteración y evaluación aplicada al caso de estudio de la vivienda colectiva en Chile es un aspecto disciplinar aún no investigado, lo que puede generar una contribución al campo de la arquitectura.

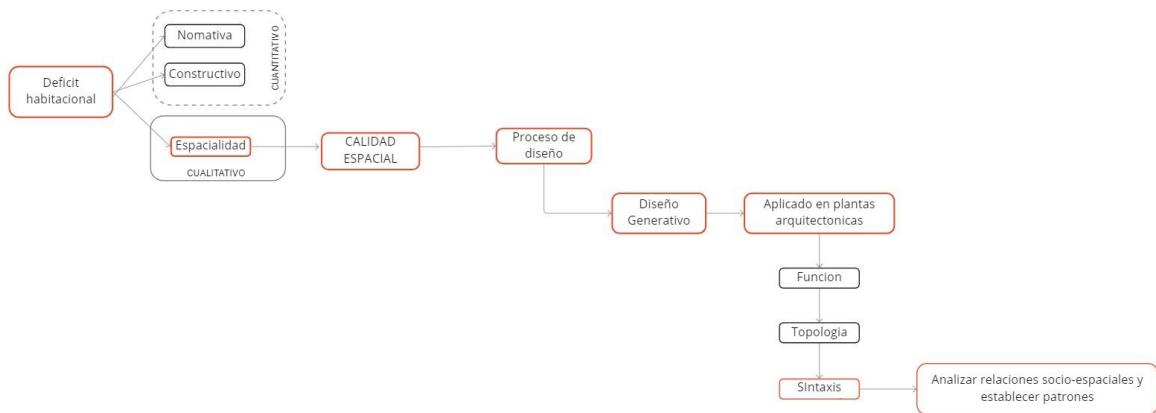


Figura 1: Diagrama de problema de investigación. Fuente: Elaboración propia.

En el ámbito de la arquitectura chilena, el problema habitacional es de naturaleza multiescalar, que afecta a situaciones de normativa, económicas y socioespaciales. Por otra parte, el crecimiento acelerado de las nuevas tecnologías, específicamente en el área de inteligencia artificial y diseño generativo permite abordar nuevos enfoques para resolver problemas complejos. En este escenario surge la pregunta ¿Cómo el diseño generativo puede ser una herramienta de diseño arquitectónico en el proceso de creación de viviendas colectivas?

Por consiguiente, el objetivo general de esta investigación es analizar el uso del diseño generativo en el proceso de diseño arquitectónico. Para poder realizar y responder a la pregunta de investigación, se establecen cuatro objetivos específicos a cumplir.

- 1.- Identificar casos de estudios de viviendas colectivas y recopilar sus antecedentes.
- 2.- Desarrollar un algoritmo de diseño generativo para generar iteraciones geométricas de diseño.
- 3.- Identificar parámetros para ingresar como input <sup>3</sup>al diseño generativo.

<sup>3</sup> Se entiende como el conjunto de datos, parámetros que se ingresan a un sistema para lograr un output (resultados).

4.- Evaluar resultados del proceso de diseño generativo de acuerdo con los principios de la teoría de la sintaxis espacial, mediante mapas convexos, grafos justificados y niveles de profundidad.

La estructura de este trabajo se compone de la siguiente manera: se plantea y discuten datos e información sobre el déficit habitacional, la relevancia de este tema y como se vincula con el proceso de diseño arquitectónico. También se revisa la manera en que propuestas de diseño arquitectónico se pueden evaluar mediante el uso de sintaxis espacial o *Space Syntax*. Luego, se introduce literatura pertinente al proceso de diseño generativo, con especial foco en la manera en la que operan los algoritmos evolutivos. A continuación, se expone el diseño metodológico de esta investigación, con sus ventajas y desventajas, y se describen los pasos que se siguieron para llegar los resultados, los que se presentan en la última sección de este escrito, la que revela los resultados obtenidos de las iteraciones y evaluación de los casos de estudios. El escrito concluye discutiendo dichos resultados en el contexto de reflexiones finales surgidas tras el desarrollo de la investigación.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Déficit Habitacional

Según el primer catastro realizado a principios del 2022 por Déficit Cero, Chile está viviendo la tercera ola de déficit habitacional: de acuerdo con esto, dicho déficit alcanza a 640.000 hogares. Además, el catastro da cuenta de la existencia de 696 campamentos, que se traduce en que el 10% de la población “vive en hogares allegados, núcleos allegados hacinados, en campamentos o en situación de calle” (Déficit cero, 2022). La distribución geográfica alcanza a todo el territorio del país, pero el mayor déficit se concentra en las regiones: de Valparaíso y del Biobío y Metropolitana, siendo el 66% a nivel nacional.

De igual manera, en octubre, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) actualizó el catastro nacional de campamentos 2022. Reveló que el déficit alcanza 650.000 familias, con 1.091 campamentos y 71.961 hogares, indicando que “las familias afectadas no cuentan con las condiciones necesarias para desarrollar su vida con seguridad, estabilidad y privacidad” (MINVU, 2022, p. 5). Asimismo, se indica que 3 regiones del país concentran el 50% de todos los campamentos a nivel nacional. Ellas son la región de Valparaíso con 255 campamentos, la de Biobío con 156 campamentos y la Metropolitana con 142 campamentos, lo que confirma el aumento exponencial del déficit habitacional cuantitativo.

Por otro lado, el concepto de vivienda con sus tipologías ha tenido cambios y adaptaciones a lo largo de la política habitacional. En sus inicios se construía a baja altura, casas de uno o dos pisos. Sin embargo, durante el periodo de 1936 a 1952, se institucionaliza las organizaciones de la vivienda, siendo implementada la Ley venta por piso en 1937. Esto se debe al diseño de tipologías C (departamentos en block de 3 a 5 pisos) en altura con perspectiva integral (áreas verdes, equipamiento y servicios). Este desarrollo se ha fortalecido en un contexto donde el suelo urbano es escaso, lo que permitió el desarrollo de proyectos de vivienda social que favorecían el diseño y construcción de esta tipología como solución al déficit habitacional.

Desde entonces el diseño y producción de vivienda social ha estado ligado a la idea de producir en serie un gran número de viviendas. En consecuencia, durante los últimos 50 años, este diseño ha sido estándar para una familia tipo, con espacios estandarizados con dimensiones mínimas, ya que se puede encontrar conjuntos habitacionales con unidades de vivienda de 37 m<sup>2</sup> implementada en Villa Arauco, o en la Población Francisco Coloane con departamentos de 42 m<sup>2</sup>, que posteriormente culminó con la demolición de 20 blocks por parte del programa Segunda Oportunidad.

Se puede inferir, que estas decisiones han sido influenciadas por el factor socioeconómico y en contrarrestar cuantitativamente el déficit habitacional, lo que dificulta el diseño de una vivienda a partir de las necesidades y características humanas (Iturra; Morales, 2017).

En contraste, (Haramoto et al., 1987: 5) propuso:

*En términos amplios la vivienda no sólo es el “techo”, sino un sistema que además incluye el terreno, la infraestructura y el equipamiento social comunitario según una localización y dentro de un contexto social, cultural, económico, político, tecnológico y físico”,*

Dicha visión permitió problematizar la vivienda como un espacio con un impacto macro político, económico y sociocultural, es decir, multiescalar. Ello se alinea con lo revelado por los informes expuestos anteriormente (Déficit cero, 2022; MINVU, 2022), los que advierten que el déficit habitacional es un problema que posee múltiples parámetros, y que demanda una solución que responda a diversas dimensiones que conforman esta compleja realidad.

Para el propósito de este estudio, se estudiaron tres casos, tres conjuntos habitacionales, que representan una muestra de los conjuntos que fueron construidos cada 10 años. Posteriormente se analizará en cada unidad representativa de vivienda una planta arquitectónica, de manera geométrica. Con ello se busca poder ingresar parámetros a modo de input al proceso de diseño generativo, obteniendo iteraciones geométrica y posteriormente interpretaciones de forma espacial haciendo los correspondientes análisis de sintaxis espacial.

**Tabla 1: Casos de estudio.**

Conjunto	Año	Región	Comuna	m <sup>2</sup>	N° Pisos	N° Espacios
Lo Valdivieso	1957	Metropolitana	Nuñoa	65.3	5	7
Plaza Chacabuco	1976	Metropolitana	Independencia	47.8	4	7
Villa Arauco	1987	Valparaíso	Viña del Mar	37.6	4	7

A modo de resumen, y antes la situación de déficit antes expuesta, resulta atingente buscar alternativas de diseño que no solo sean capaces de resolver aspectos espaciales, arquitectónicos y constructivos, sino que también contemple el proceso de diseño de las viviendas como un proceso optimizado eficiente y eficaz; esto es, buscar la mejor solución de acuerdo con lineamientos espaciales y aspectos socioculturales. Para esto, el presente trabajo estableció una discusión en torno al proceso de diseño de arquitectos, permitiendo entender los modelos mentales y las representaciones que guían el proceso de toma de decisión proyectual.

## 2.2 Proceso de Diseño

Los arquitectos y/o diseñadores realizan modelos mentales durante el proceso de creación de una propuesta; esto se componen de diagramas y esquemas geométricos para analizar las relaciones espaciales del usuario o comprender las necesidades del habitante, sin embargo, como se ha mencionado antes, durante 50 años se ha diseñado la vivienda social rigiéndose con las medidas mínimas establecidas por la norma habitacional, dejando en un segundo plano el contexto micro y macro social, lo que tiende a empobrecer la calidad de vida de las personas. Idealmente, el proceso de diseño que se organiza a partir de su naturaleza episódica (Soza, 2018), y dicha naturaleza permite que los problemas mal estructurados<sup>4</sup> pueden estructurarse (Simon, 1973), mediante el proceso de formalización de resolución de problemas con inteligencia artificial.

Purcel y Gero (2006) indican que dentro de la etapa conceptual temprana del proceso de diseño existen formas de representación pictórica, las que se consideran parte esencial del proceso de diseño y de la construcción de representaciones no estructuradas, relacionadas con la creatividad y la innovación propias del diseño arquitectónico de manera contextualizada y relevante.

Por otro lado, van der Meiden y Bronsvort (2010) advierten que existe una relación entre parámetros y objetivos, la que se apoya en una correlación con la geometría para validar un modelo realizado. En consideración de lo anterior, se ha hipotetizado sobre la aplicación de inteligencia artificial, específicamente el diseño generativo que:

*“El DG puede funcionar en etapas conceptuales del diseño donde este todavía está en fase de formulación, la capacidad de exploración de variaciones de diseño en las primeras fases puede producir resultados muchos más beneficios que la optimización con medios limitados en las fases finales del diseño. (Krish, 2011)*

Es por esto, que el diseñador al momento de plantear soluciones a un modelo puede ser apoyado por las tecnologías mencionadas. Sin embargo, el proceso que realiza el DG es computacional y para proponer representaciones arquitectónicas se evalúan esos resultados, rol importante por parte del diseñador sobre todo en la etapa de diseño antes explicada.

Espacio del problema de un diseño arquitectónico, lo que se explica como los pasos o secuencia que se dan dentro de un problema de diseño y como cada etapa va desarrollando sub pasos con características o especificaciones que no se tienen en consideración al inicio del problema. A modo de ejemplo, si pensamos en una tarea de diseño como el diseño de un acceso a un cementerio, primero se establece el terreno a intervenir, para esto se imprime o dibuja una vista en planta del lugar a intervenir, luego se establecen las dimensiones del terreno para establecer límites y poder configurar el programa, ligado a esto se identifica y analiza que programas se necesitan: espacios de descanso, columbarios, zona de oración, una iglesia, cada uno de esos requiere que diseñe de forma individual y pueda cumplir con la normativa, así mismo, se debe tener en cuenta el aspecto espacial, conexiones viales, vistas, y en conjunto, analizar relaciones sociales, como se comporta la gente en un cementerio y que espacios necesita. Además, el acceso se debe insertar en un contexto de trama urbana, aquí se integra el aspecto urbano, porque al tener esos aspectos (espacial-programático-social-urbano) se debe diseñar en detalle, que tipo de estructura se va utilizar, esto ya es un aspecto interdisciplinar, donde se deben compartir ideas con otras áreas de diseño, además

---

<sup>4</sup> Se entiende como problemas que no tienen una estructura clara para poder resolverlos, pudiéndose aplicar varias estrategias.

se debe diseñar que tipo de material se va ocupar, cuales se han usado alrededor, el costo del material, la lógica de llevar el material, cuanto personal se va necesitar, permisos de edificación, etc. Cada etapa del diseño arquitectónico contiene subetapas los diseñadores/arquitectos establecen criterios al momento de diseñar problema.

Este ejemplo permite visualizar que el inicio de formulación de diseños de problemas es siempre vago y no claro (Simon, 1969), el proceso de diseño tiene una condición circular donde la formulación de problemas y su solución son codependientes (Soza,2018); siguiendo esta lógica, en conjunto con el objetivo de este estudio, el analizar el diseño generativo como herramienta presenta potencialidades en respecto a la fase donde se implemente, sin embargo, como se ha mencionado anteriormente se necesita una interpretación arquitectónica, siendo en este caso, el concepto de sintaxis espacial. Por lo tanto, a continuación, se revisan antecedentes sobre diseño generativo y sobre sintaxis espacial.

### **2.3 Diseño Generativo**

Actualmente estamos en la era industrial 4.0 donde el desarrollo tecnológico, la automatización y recopilación de datos (*data*) son aspectos fundamentales para la fabricación moderna desde una visión holística. Estos aspectos son parte de la implementación y visualización de la inteligencia artificial (IA) y el machine learning (ML), que permiten tomar mejores decisiones (Shume, 2020). Estas herramientas pueden ser aplicadas en todas las disciplinas, siendo una de ellas la Arquitectura, campo en el que aún se encuentra en etapa exploratoria.

El campo de la inteligencia artificial (IA) se desarrolla a través de entidades inteligentes que sintetizan y automatizan tareas intelectuales (Stuart R, Norving, P. 2008). Puede abarcar desde el aprendizaje y percepción, o se puede diferenciar como sistemas que piensan como humanos (Haugeland, 1985. Bellman, 1978), sistemas que actúan como humanos (Kurzweil, 1990. Knight,1991); sistemas que piensan racionalmente (Charniak, 1985. Winston, 1992) o sistemas que actúan racionalmente (Poole, 1998. Nilsson, 1998). Por lo tanto, esta tecnología es capaz de imitar el comportamiento inteligente con un trasfondo cognitivo articulado por un humano (Winograd, Flores, 2002)

Dentro del campo IA aplicada al diseño arquitectónico existen distintas ramas. Entre las más comunes hoy en día están el Diseño generativo, Machine learning y Deep learning. Cada una tiene distintas aplicaciones en la arquitectura, desde el proceso de anteproyecto, hasta la automatización de la operación del edificio. Esta investigación se enfoca en el diseño generativo.

El diseño generativo puede usar o no IA. Si involucra el uso de algoritmos evolutivos se considera que se está usando IA en el diseño generativo. En caso de no usar este tipo de algoritmos, el diseño generativo opera sobre el modelamiento paramétrico, lo que muchas veces va sumado al uso de interfaces graficas de programación visual por parte del usuario, pero no necesariamente se está usando IA para procesar información de manera más rápida y eficiente que un agente humano. Los algoritmos evolutivos evalúan el modelo geométrico y optimizan las opciones de resultados, permitiendo al diseñador, una exploración mucho más profunda de espacios de diseño complejos. Así, la solución arquitectónica se configura con métricas concretas, predefinidas, y controlan parámetros de entrada del modelo para encontrar soluciones de diseño explorando al mismo tiempo todas las posibilidades del espacio de diseño (Nagy, Villaggi, Benjamín, 2017), descubriendo resultados novedosos y revelando las mejores opciones de diseño.

Asimismo, los parámetros de entrada del modelo geométrico están regulados por el diseñador; Gero (1990) propuso que estos fueran guiados por un objetivo y estuvieran limitados, con “restricciones” como lo planteara Rietman (1966), ya que en el diseño creativo tanto contexto como la percepción del diseñador son una parte importante del proceso evaluativo, y ambas afectan los modelos resultantes.

Singh y Gu (2012) también están entre los investigadores que establecieron un marco de enfoque en Diseño Generativo, explicando que existen 5 tipos de técnicas computacionales que se pueden utilizar; Autómatas Celulares (CA): que consisten en la aplicación de un conjunto de reglas que funcionan según proximidad espacial (comparten cara/arista/vértice) a una cuadrícula cartesiana, y su definición se sujeta según el problema y las características de diseño; Algoritmos genéticos (GA): que son técnicas evolutivas inspiradas en la naturaleza; Sistemas L (LS): que son algoritmos que contienen y aplican reglas al mismo tiempo, generando variaciones gramaticales de diseño representadas en símbolos; Inteligencia de enjambre (SI): que son modelos basados en agentes que se implementan en comportamientos sociales o colectivos formando patrones globales funcionales y coherentes; y Gramáticas de la forma (GS) o shape grammar: que son un conjunto de reglas formales que generan conjuntos geométricos, y estas mismas reglas son las descripciones de dichos conjuntos, estableciendo elementos y relaciones que pueden generar su propio lenguaje de diseño o se pueden analizar geometrías existentes (Stiny, 1990).

Cada técnica se utiliza para apoyar y generar distintas aproximaciones, sistemas deterministas y no deterministas, a la etapa primaria de formulación arquitectónica, pero se diferencian en el - que y como- se aplican sus reglas, además de identificar cuál es el caso en el que se puede aplicar cada sistema computacional variando su resultado, nivel de profundidad y post evaluación en el diseño de en cada una. Esta investigación propone indagar y analizar el proceso computacional del DG con algoritmos evolutivos y generar un set de iteraciones geométricas optimizadas.

### **2.3.1 Algoritmo Evolutivo**

Como se explicó, una de las ramas de inteligencia artificial es la computación evolutiva, que se entiende como búsqueda de soluciones a través de un inmenso espacio de posibilidades, para encontrar resultados potenciales para un problema específico (Bentley, Corne 2001). Un algoritmo evolutivo (AE) es un subconjunto de la computación evolutiva inspirado en la biología evolutiva, que mediante estrategias de optimización trabaja con grupos o poblaciones de soluciones donde se eligen las mejores soluciones, según un set de criterios de evaluación, para que evolucionen y mientras que las soluciones restantes se eliminan. En la siguiente “generación” las mejores soluciones vuelven a evolucionar mientras el resto se descartan nuevamente, y así sucesivamente hasta que el proceso de evaluación encuentra el resultado más óptimo, según el *fitness* escogido (m<sup>2</sup>, área, perímetro, etc.)

Los AE hacen el proceso de selección, recombinación y mutación en cada generación, además requieren alguna forma de orientación para dirigir la evolución hacia las mejores zonas del espacio de búsqueda, mediante la evaluación de cada solución de la población para determinar su *aptitud o fitness* (García, García, Villada. 2012). En esto consiste evaluar la aptitud de una solución, a partir de una puntuación basada en lo bien que la solución cumple el objetivo del problema, calculada por una función de aptitud.

Los valores de aptitud suelen representarse en espacios de búsqueda, dando lugar a *paisajes de aptitud montañosos*, donde la parte más alta corresponde a soluciones en esa parte del espacio de búsqueda que tienen aptitudes óptimas (Rutten, 2010). Si el problema tiene muchos óptimos separados (es decir, si la función de aptitud es multimodal), encontrar una solución globalmente óptima (la cima de la montaña más alta) en el paisaje puede ser extremadamente difícil.

Hay cuatro familias principales de algoritmos evolutivos que se utilizan hoy en día, tres de las cuales se desarrollaron de forma independiente hace más de treinta años. Estos algoritmos son: el Algoritmo Genético (AG) creado por John Holland (1973), Programación Evolutiva (PE) creado por Lawrence Fogel (1963), Estrategias de Evolución (ES) creadas por Ingo Rechenberg (1973) y Programación Genética (GP) desarrollada por John Koza (1992).

En este estudio se ocuparán algoritmos genéticos creados por Holland. Así mismo, para poder entender en detalle el proceso computacional del diseño generativo, en la próxima sección se presentará, en la visión de distintos autores, el programa a utilizar y su estructura.

### **2.3.2 Algoritmos Genéticos**

El proceso fundamental que computan los algoritmos es la optimización. Entendiendo este concepto como el proceso de hacer algo mejor, en donde el diseñador concibe una idea y la optimización la mejora probando variaciones sobre un concepto inicial (Haupt, Haupt. 2004). Además, ellos proponen que los AG tienen ventajas como: optimización con variables continuas o discretas, búsqueda simultánea de distintas opciones de soluciones, puede trabajar con muchas variables al mismo tiempo y optimizan variables complejas. Así mismo, se trabaja con datos generados numéricamente, datos experimentales o funciones analíticas.

Eiben y Smith (2015) propusieron que los algoritmos genéticos son lentos y para problemas de alta complejidad pueden ser costosos en términos de tiempo y recursos; dependiendo de los parámetros la evaluación, los algoritmos podría no llegar a una solución óptima o terminar en una solución prematura y la “mejor” solución solo es en comparación a otras soluciones, por lo que es necesario tener criterios definidos para la evaluación final. Al respecto, el proceso de optimización explicado por Rutten (2010) establece que primero se trabaja con un modelo (problema) y con variables (genes) que van cambiando el estado inicial de dicho modelo, entregando una población de soluciones candidatas (generación) las que se componen por individuos o fenotipos. Cada solución candidata tiene un conjunto de propiedades, que son valores específicos para cada uno de los genes, para ser mutados o alterados. En estas propiedades es donde se aplica la aptitud o “*fitness*” antes mencionada, para encontrar o acercarse a la solución más adecuada o de mayor calidad.

Los algoritmos genéticos se encuentran incorporados en el plugin Galapagos, que opera dentro del ambiente de programación visual Grasshopper, que a su vez funciona dentro del software Rhinoceros. En este estudio se ocupa Galapagos por dos razones: primero, el problema de investigación analiza el diseño generativo en la etapa inicial del proceso de diseño, siendo esta abstracta. En segundo lugar, el proceso de evaluación con sintaxis espacial teoriza en el estudio de vacíos, esquemas geométricos, dejando en segundo plano, materialidades, grosores de elementos. Se explicará la teoría de ese método en la próxima sección.



## 2.4 Sintaxis Espacial

La sintaxis del espacio como teoría de evaluación arquitectónica es explicada en el libro “The Social Logic of Space” de Hillier y Hanson (1989). Estos autores presentan su teoría acerca la organización del espacio y su significado social, proponiendo analizar cada escenario (edificios, parques, ciudades) de acuerdo a sus propiedades espaciales, y la manera es que dichas propiedades influyen en la forma de interacción entre las personas. Por lo tanto, sostienen Hillier y Hanson, la actividad humana y las relaciones sociales se expresan y reflejan en configuraciones espaciales.

Este análisis, aplicable a distintos escenarios y escalas. Mas allá de la consideración de que las configuraciones espaciales sean multiescalares. El análisis puede realizarse desde una macro escala (estrategias regionales, ciudades), a una meso escala (espacio colectivo, parques) o una microescala (edificio), permitiendo siempre establecer redes de conectividad (Maya, 2019).

Para establecer redes de conectividad, se estudian lo vacíos (espacios), omitiendo materialidades, grosores, texturas o colores. Estas redes de conectividad se representan a través de grafos<sup>5</sup> formando un entramado que permite establecer la accesibilidad de cada espacio representado en el grafo. Hillier (1996) explica que la teoría de grafos o teoría de redes se caracteriza por su estructura topológica y que los diferentes espacios se relacionan de modo tal que el cambio en alguna de las conexiones puede provocar cambios en el sistema a nivel global.

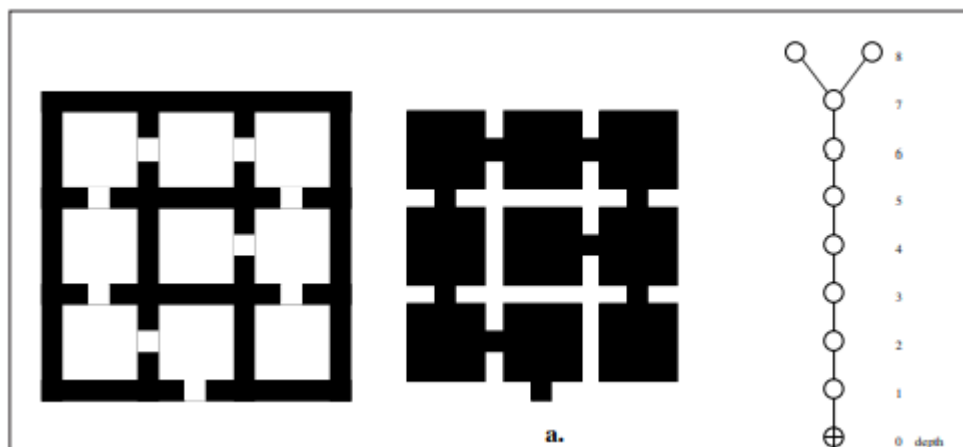


Figura 2: Esquema representativo de los fundamentos de la sintaxis espacial; plano a estudiar, vacíos y representación mediante grafos. Fuente: Hillier, 1996; p.21

<sup>5</sup> Un Grafo se compone de puntos (nodos) ubicados en el centro del espacio y se conectan con de líneas rectas (aristas).

Es importante señalar que la sintaxis espacial predice patrones de movimiento y co-presencia en la trama arquitectónica/urbana. Para estudiar las configuraciones los espacios reales se transforman en representaciones esquemáticas, es decir, en mapas o grafos en función de los vacíos y las configuraciones características que se quieran estudiar; que se clasifican según simetría o distribución de espacios.

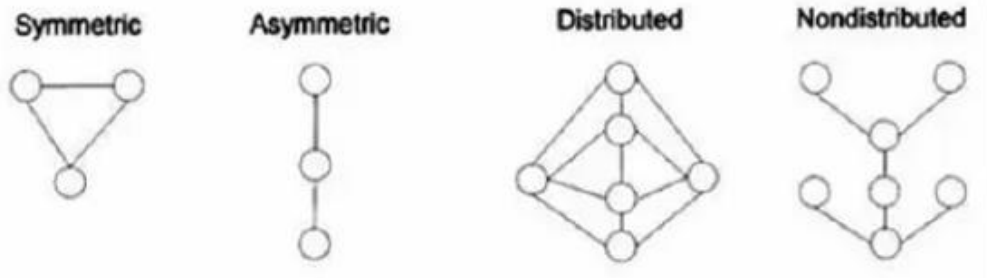


Figura 3: Patrones de grafos justificados según distribución de espacios. Fuente: Hillier y Hanson 1984.

De esa misma manera, las configuraciones se estudian en base a categorías que asignan un valor a cada nodo en el grafo, lo que se calcula matemáticamente. En este estudio se realizará este proceso usando el plugin Space Syntax para Rhinoceros. Las categorías de análisis que se busca evaluar son:

**Integración o Integration:** Puede ser aplicado a cualquier espacio, indica que cuanto menos profundidad tenga el grafo, más integrador será el espacio y viceversa, esto significa que a cada espacio se le puede asignar un valor de integración. Esto permite descubrir que diferentes funciones se espacializan de forma distinta.

**Control:** Indica la fuerza con la que un vértice de un grafo (un espacio en una configuración) está vinculado a otros puntos de manera superior.

**Elección o Choice:** Indica la frecuencia con la que un nodo (espacio) se encuentra en la ruta más corta entre todos los demás nodos, en otras palabras, mide "el grado de elección que representa cada espacio (la probabilidad de ser atravesado) en todas las rutas más".

**Entropía o Entropy:** Indica que mientras mayor sea el valor resultante, más difícil será llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa.

Estos criterios permiten analizar, jerarquizar e inferir redes de conexiones, los que pueden ser interpretarlos a modo de patrones como nuevos esquemas o diagramas arquitectónicos según el problema de diseño que se esté estudiando.

A modo de resumen, esta sección de antecedentes presento y discutí que el déficit habitacional es un tema multiescalar y que es de importancia el diseño de las viviendas. Así mismo, se vio que el proceso de diseño que tienen los arquitectos / diseñadores es complejo y circular. A raíz de ese contexto se propone que el diseño generativo puede ser una herramienta en la etapa temprana de formulación de diseño, mediante iteraciones geométricas realizadas con AE las que puedan

evaluarse espacialmente usando la teoría de la sintaxis espacial. En la próxima sección se presenta el método de estudio y la secuencia de estrategias realizadas en esta investigación.

### **3. Diseño metodológico del estudio**

#### 3.1 Elección de método de investigación

Considerando que el objetivo de esta investigación fue analizar el uso de diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño aplicado en conjuntos habitacionales, se define que una aproximación metodológica basada en experimentación y simulación es la más adecuada para abordar la investigación.

Por otro lado, el carácter exploratorio de este estudio radica en el proceso de vincular el diseño generativo de conjuntos habitacionales. Para ello, se analizarán 3 casos de estudio, específicamente la planta arquitectónica de cada uno para conocer sus dimensiones y cantidad de espacios, así abstraer la geometría de cada uno.

Respecto del método de simulación, este se encuentra predefinido en la suite de herramientas digitales utilizadas, en este caso el plugin Galapagos, el entorno de programación visual Grasshopper, para realizar las iteraciones computacionalmente, el plugin Space Syntax con el fin de analizar el uso del diseño generativo como herramienta en el proceso de diseño, todo ello dentro del ambiente proporcionado por software Rhinoceros.

#### 3.2 Recopilación de datos

El primer objetivo consistió en elegir los casos de estudio. Para ello se revisó información de diversos conjuntos habitacionales provista por el curso “Electivo de Especialización: Política Habitacional y Crecimiento Urbano”. En primera instancia se identificaron viviendas unifamiliares y los conjuntos habitacionales, siendo este último grupo el caso de interés de este estudio, ya que el uso de suelo es escaso y la proyección de viviendas es en altura para poder contrarrestar el déficit habitacional.

Posteriormente se eligieron 3 casos, buscando que fueran representativos de los cambios en la política habitacional nacional. El caso 1 corresponde al Conjunto Lo Valdivieso de 1957 (figura 4). El segundo caso es la población Plaza Chacabuco de 1976 (figura 5), y el tercero el Conjunto Villa Arauco de 1982 (figura 6). Para desarrollar la investigación, se hizo un registro de las planimetrías de los conjuntos a través de imágenes de planos municipales, los que estaban debidamente acotados pudiendo capturar las medidas reales de los conjuntos. Posteriormente se dibujaron las plantas usando software CAD. Se establecieron los ejes como limitantes para abstraer la geometría de cada espacio. La información base de los tres casos se encuentran en el Anexo 1



geometría creada. A continuación, se presenta un detalle de cada una de estas cuatro partes explicando cómo se conectan sus componentes.

### 3.5.1 Organización del algoritmo.

Al tener en Rhinoceros dibujada las plantas arquitectónicas, se delimita la geometría de cada espacio y se incorpora al contenedor de *curvas* que posteriormente se calcula el área individual. En la figura 8 se puede observar al lado izquierdo 3 pool gens (color rosado), los dos primeros, indican las dimensiones de los 7 espacios en coordenadas XY (*Pt XYZ*), el ultimo indica la posición de rotación. Esta primera parte sirve para ingresar los datos, establecer los parámetros, siendo fundamental para posteriormente conectar con la parte final del algoritmo y realizar las iteraciones geométricas, ya que se busca optimizar la posición de cada geometría.

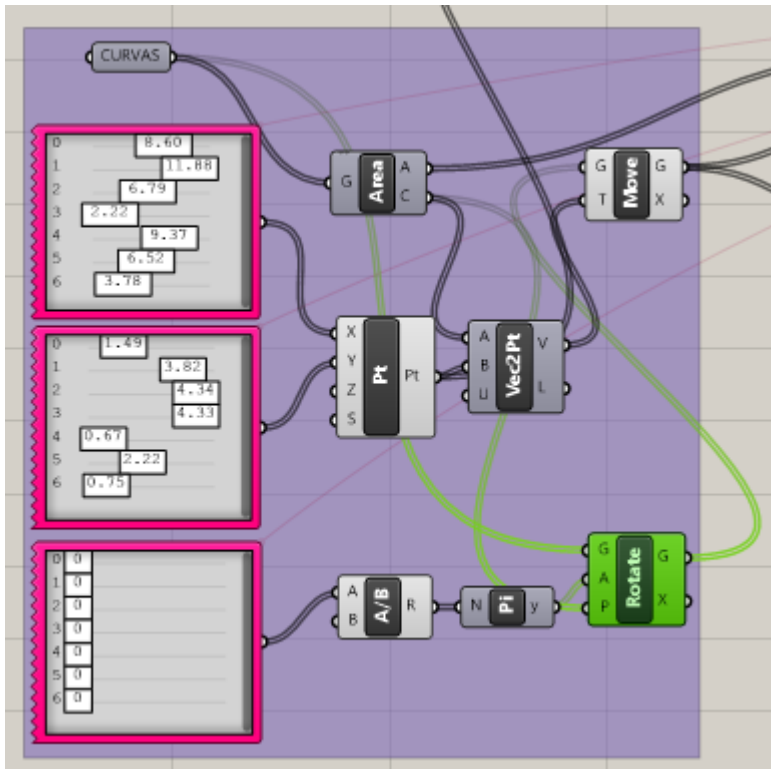


Figura 8: Organización de componentes para ingresar la data. Fuente: Elaboración propia.

En el segundo grupo, de color turquesa, controla los límites donde se ejecutará la interacción de cada una de las geometrías. Para eso se define el componente *Mass addition*, permite realizar la adición del área de cada geometría, y en paralelo se coloca un *Bounding Box* (figura 9) que permite contener las geometrías dibujadas. Este *Bounding Box* se conecta al *Area* para calcular su totalidad.

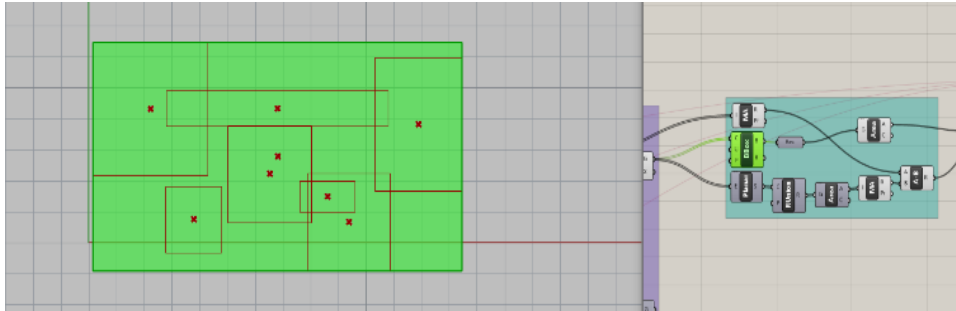


Figura 9. Componente Boundig box. En verde se ve el área donde se moverá cada geometría. Fuente: Elaboración propia.

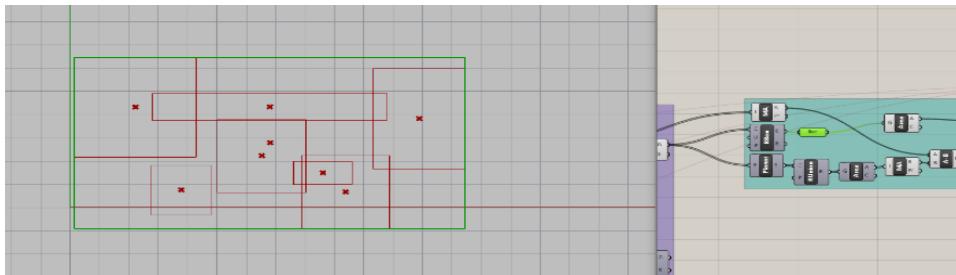


Figura 10: Bounding Box se traduce a un rectángulo siendo el límite de iteración. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se observa que el algoritmo reconoce la totalidad de los 7 espacios dibujados con sus dimensiones y áreas. Esto sirve para indicar al componente *Subtraction* se reste el área del *Boulding Box* y con ello se indica al algoritmo que es necesario que calcule y grafique el menor espacio posible entre esos dos elementos.

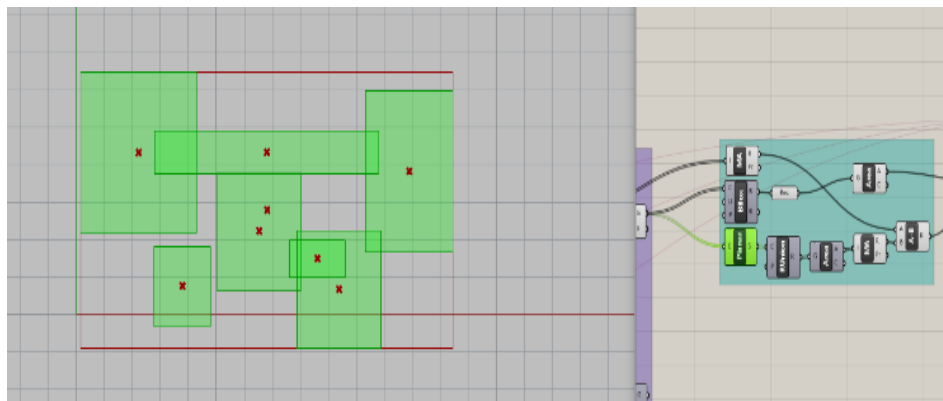


Figura 11: Componente Planar Surface, reconoce la superficie de cada geometría. Fuente: Elaboración propia.

En la parte final de la definición del algoritmo, grupo de color rosado (figura 12) se coloca el componente  $F2(X,Y)$ , que permite evaluar dos variables, el área del rectángulo mayor y la sustracción de las geometrías contenidas. El objetivo de este componente es conseguir el número

más bajo posible para poder optimizarlo, correspondiendo este al *fitness* que se conecta con el componente de Galapagos, como se observa en la figura.

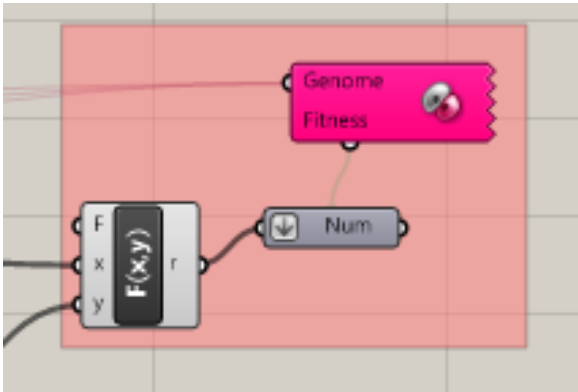


Figura 12: Conexión de componente función con output numérico para conectar al fitness de Galapagos. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, para identificar cada espacio se realiza una lista con la designación de cada uno, (sala de estar, cocina, baño, pasillo, dormitorios, logia) para etiquetar la geometría resultante dibujada.

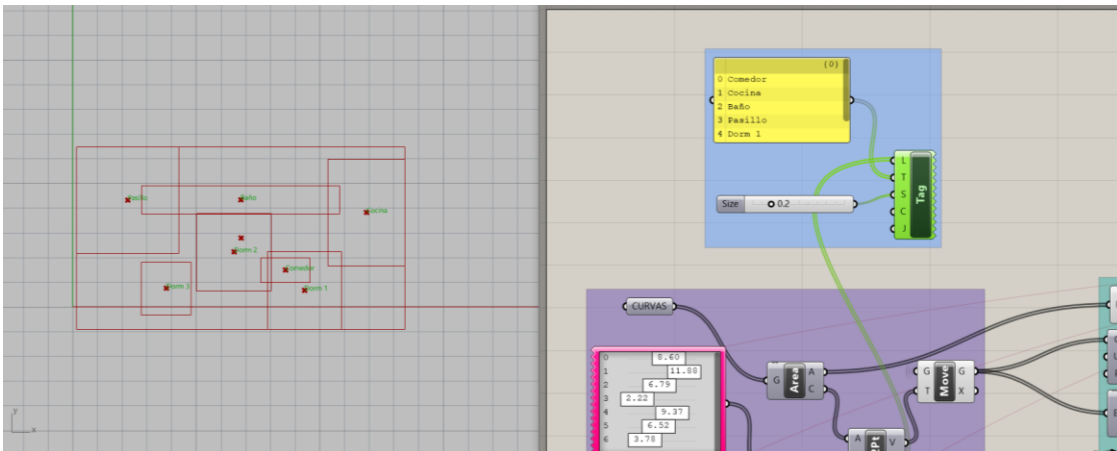


Figura 13: Nombre de programa a cada espacio. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Iteraciones

Al ejecutar el plugin Galapagos se muestra una pestaña (figura 14) donde se define el tiempo de optimización y la cantidad de iteraciones que se necesitan. Además se pueden modificar otros parámetros en función del resultado que se desea obtener. En este experimento se indicó que se harán 50 iteraciones para cada caso. Si bien estas son pocas iteraciones en comparación a los resultados que se pueden obtener con el plugin Galapagos, se eligió un número reducido, ya que el proceso de post evaluación es un proceso manual. Además se consideró el limitado tiempo para realizar esta investigación, más el extenso proceso que llevo buscar y aprender la programación y uso del algoritmo que determino esta cantidad de resultados.

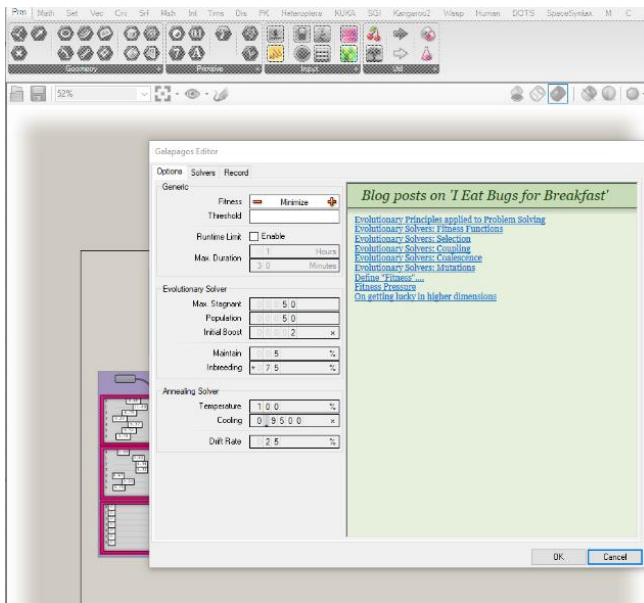


Figura 14: Editor de Galapagos.

Las iteraciones se realizaron con el conjunto Lo Valdivieso del año 1957, siendo el más antiguo de los casos estudiados. La figura 15 muestra la pestaña del plugin Galapagos en la que se visualizan 4 partes:

- 1) El grafico de optimización, en la parte superior hay marcadores que indican que en ese lugar se encontró una opción solución mejorable.
- 2) Ploteo mostrando las opciones buenas y en descartadas.
- 3) Grafico lineal indicando las variaciones de cada solución, para ver el comportamiento del proceso de optimización.
- 4) Ventana con los valores de optimización, siendo el primer valor el mejor o “bueno”, también se pueden seleccionar otras opciones hacia abajo para ver distintos resultados y poder visualizarlos el viewport de Rhinoceros (a la izquierda de la imagen).

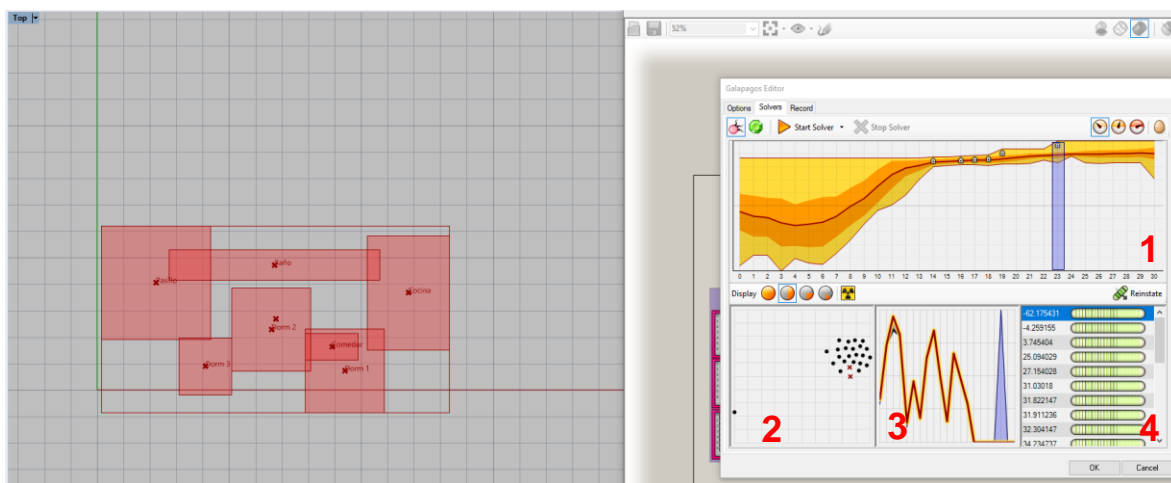


Figura 15: Proceso de iteración con Galapagos.



## 4 Resultados

Se obtuvieron dos fases de resultados, la primera con resultados realizados por el proceso de diseño generativo y la segunda correspondiente a la evaluación con sintaxis espacial.

### **Resultados proceso de diseño generativo:**

Se obtuvieron 150 iteraciones en total, 50 por cada conjunto habitacional, siendo el output iteraciones geométricas. Esto indica, que el proceso realizado por el plugin Galapagos fue condicional a la configuración del algoritmo. En Grasshopper se programó un algoritmo que iterara la geometría o los “espacios” dentro de un límite específico. Si bien este límite es el área que tiene actualmente cada conjunto en la mayoría de los resultados se sobrepasó dicha área.

Sin embargo, al revisar los resultados cada iteración (figura 16), es posible observar que existe un traslape entre las unidades de geometría. Esto se contradice con el entendimiento de que los espacios deben ser adyacentes. Bajo ese criterio fueron seleccionados las soluciones que cumplían con un traslape mínimo, indicando que el proceso de optimización e iteración encontró diferentes posiciones al colocar los espacios.

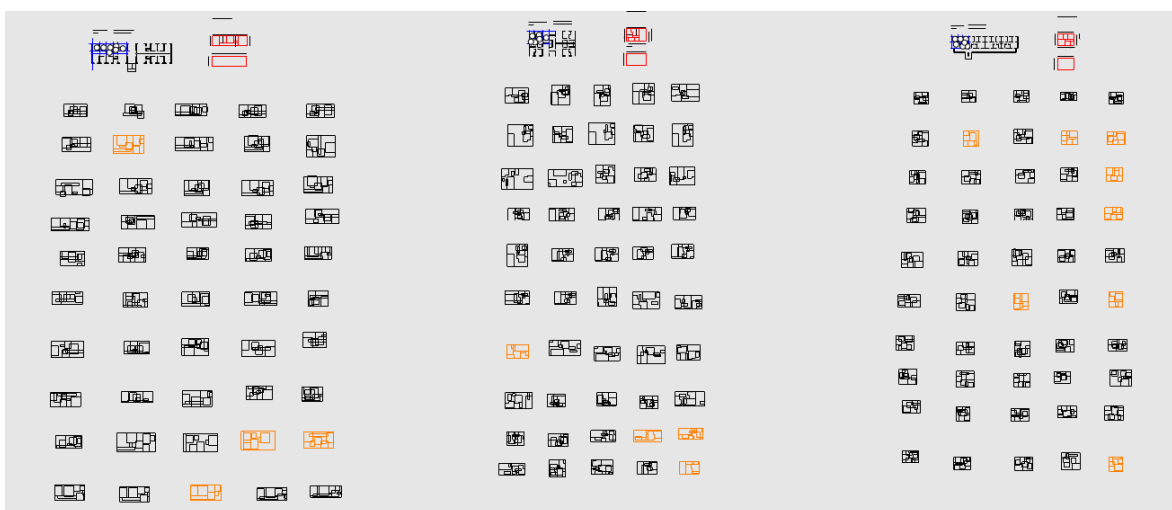


Figura 16: Resultados (output) de iteraciones geométricas de cada conjunto habitacional. Fuente: Elaboración propia.

### **Resultados análisis sintaxis espacial:**

Al tener las iteraciones geométricas, estas se evaluaron en términos de especialidad con sintaxis espacial. Se puede observar en la figura 17, los resultados seleccionados de cada unidad iterada, luego el mapa convexo, donde se colocaron nodos marcando el centro de cada espacio, y las conexiones, usando líneas, entre los espacios adyacentes. Luego se obtuvo diagrama de burbujas traducido a un grafo justificado<sup>7</sup> que se lee desde abajo hacia arriba. Finalmente se colocaron los cuadros con los valores de *Integration*, *Control*, *Choice* y *Entropy*, ordenando de menor a mayor los datos obtenidos.



Figura 17: Análisis de iteraciones geométricas mediante Sintaxis espacial. Fuente: Elaboración propia

Los resultados del estudio se organizaron de la siguiente manera:

	<b>Lo Valdivieso</b>	<b>Plaza Chacabuco</b>	<b>Villa Arauco</b>
<b>Unidad geométrica Iterada</b>	UG1, 2, 3, 4	UG1, 2, 3, 4	UG1, 2, 3, 4
<b>Mapa convexo</b>	MC1, 2, 3, 4	MC1, 2, 3, 4	MC1, 2, 3, 4
<b>Diagrama de burbujas y grafo justificado</b>	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)
<b>Tabla de datos (integración, Choice, Entropía, Control)</b>	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)	Resultado 1 (R1) Resultado 2 (R2) Resultado 3 (R3) Resultado 4 (R4)

### Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Lo Valdivieso

Dentro del primer set de soluciones, se seleccionaron cuatro unidades geométricas iteradas (UGI), las que se pueden observar de color naranja (figura 18). Esos se traducen con el mapa convexo (MC) que indica los espacios de interacción (figura 19). Cada geometría pasa a ser un espacio (color rojo) y se definen las conexiones entre ellos (color azul), permitiendo saber la cercanía y conexión con otros espacios.

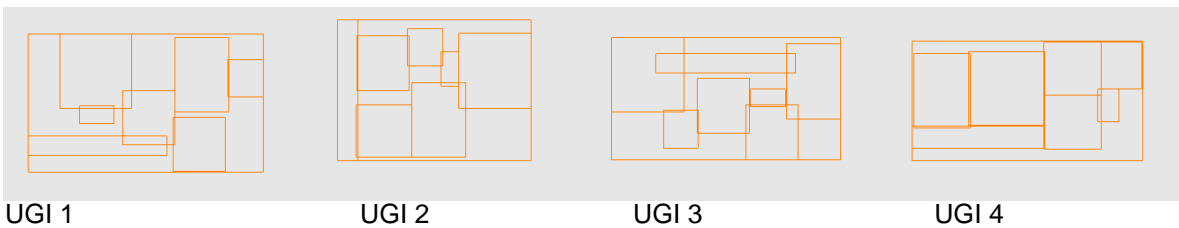


Figura 18: Resultados de iteraciones geométricas. Fuente: Elaboración propia

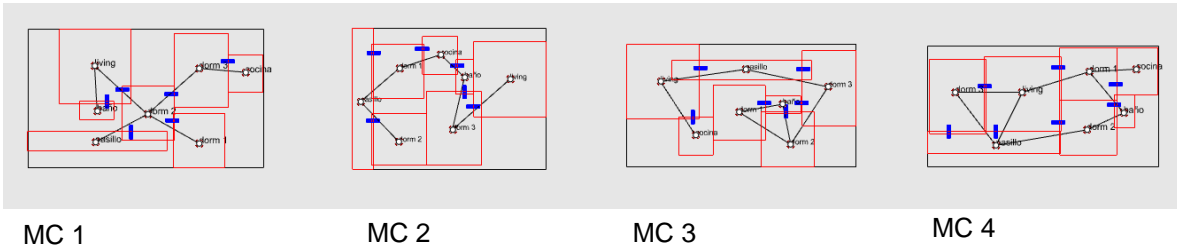


Figura 19: Mapas convexos. Fuente: Elaboración propia.

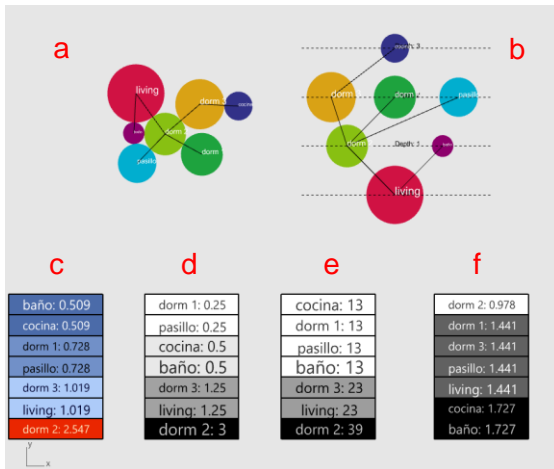
En la segunda parte (figura 20) en lado izquierdo (a) es una representación espacial mediante diagrama de burbujas donde se interconectan los espacios antes marcados en el mapa convexo. Las burbujas se componen por colores para diferenciar cada espacio, en este caso son: Sala de estar (rojo); Cocina (azul); Baño (morado); Pasillo (celeste); Dormitorio 1 (verde oscuro); Dormitorio 2 (verde claro) y Dormitorio 3 o Logia (Naranja). Esto permite visualizar patrones de conectividad y posición espacial de cada diagrama, y poder interpretarlos en planos según nuestras intenciones de diseño.

En este caso, en comparación de los 4 resultados, la sala de estar se encuentra conectada a uno o tres espacios, sin embargo, en R,1 y R3, el dormitorio 2 cuenta con cuatro conexiones, mientras que en R2 y R4 ese mismo espacio cuenta con dos conexiones.

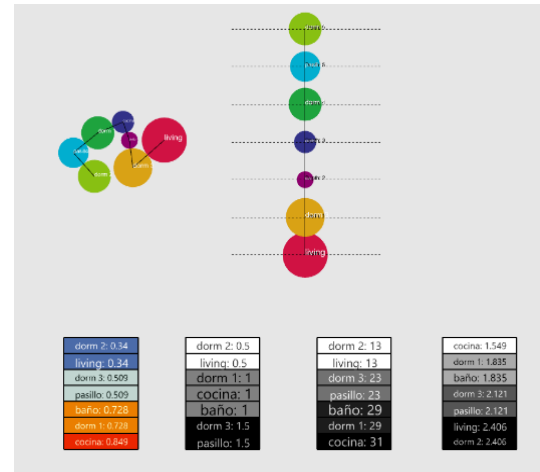
En la figura 20, lado (b), se observan *grafos justificados* que permiten jerarquizar niveles de profundidad. Estos se pueden clasificar según su simetría y distribución de espacios, además que poder seleccionar el punto de vista (PV) de cada espacio. Por lo tanto, también se pueden obtener patrones de conectividad, pero enfocados en la integración de espacios.

En este conjunto habitacional, R1 es un grafo *no distribuido* donde la sala de estar es PV, se conecta con dos espacios (dorm 2 y baño). Por ende, para acceder a los demás espacios de la solución generada por el algoritmo se tendría que pasar por dorm 3 para ir a la cocina, desde el dorm 2 al dorm 1, o al pasillo. Este grafo interpretado en desde el punto de vista del diseño arquitectónico no es eficiente ya que los dormitorios se consideran espacios privados.

Un caso similar ocurre en R3, donde hay que pasar por la cocina para ir a los demás espacios. Sin embargo, en R2 se identifica un grafo *asimétrico*, que contiene 7 niveles de profundidad por ende no es una unidad integradora, si no que más bien segrega cada espacio. Contrario a lo que ocurre en R3, se clasifica como un espacio *distribuido*, pues tiene 3 conexiones a dorm 3, dorm 2 y pasillo permitiendo circular a los demás espacios.

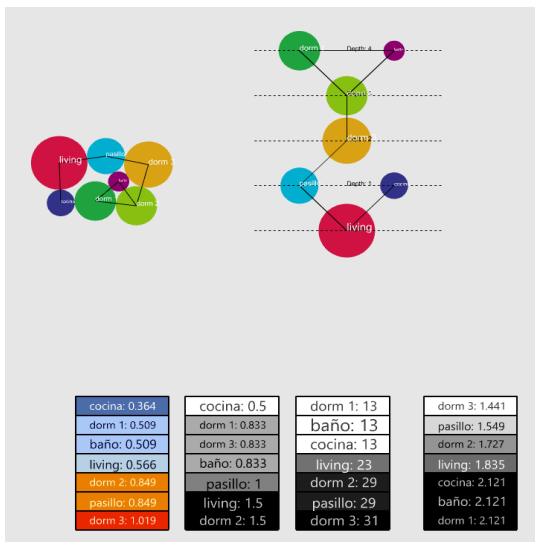


R1

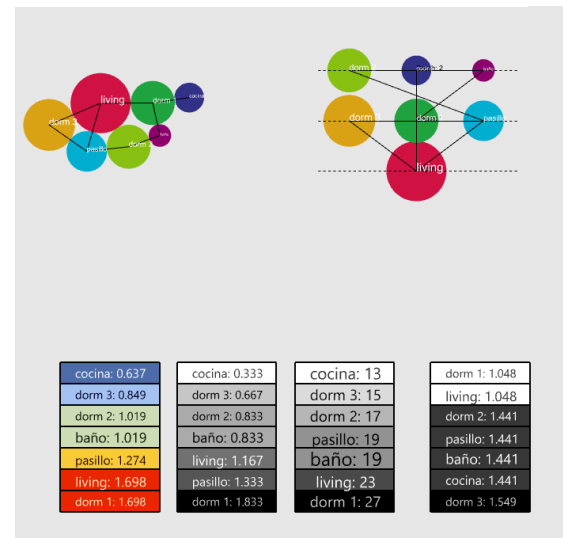


R2

Figura 20: a) Diagrama de burbujas, b) grafo justificado, c) Tabla datos de Integración, d) Tabla datos control e) Tabla datos Choice f) Tabla datos entropía



R3



R4

Figura 21: Diagrama de burbujas, grafo justificado, Tabla datos de Integración, Tabla datos control, Tabla datos Choice, Tabla datos entropía

la Tabla (c) se indica que, según el análisis de integración descritos por Hillier (1987), el valor de integración más alto es probable que sea un espacio público mientras que el valor más bajo sea el espacio más privado. En los cuatro resultados los valores obtenidos correspondieron a recintos como el dormitorio o la cocina, lo que se condice con lo explicado anteriormente.

En la tabla (d) se indica la fuerza con la que un vértice está vinculado a otros puntos de manera superior. En este caso, se observa que los valores más altos son: R1 con dormitorio 2 tiene valor 3; R2 indica que el pasillo tiene valor 1.5; R3 tiene dormitorio 3 valor 1.5 y el R4 tiene dormitorio con 1.8. En la tabla (e) indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, en los 4 resultados, el valor es 13 y varía entre el espacio de cocina y dormitorios.

Por último, en la tabla (f) indica el análisis que el valor alto es más difícil llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa. En los resultados obtenidos, en R1 indica que el valor alto es en el baño con 1.7, en R2 es dormitorio 2 con 2.4, R3 es dormitorio 1 con 2.1 y en R4 es dormitorio 3 con 1.5.

En comparación, en las 4 configuraciones espaciales se puede observar que los diagramas de burbujas comparten la cantidad de conexiones entre espacios, pero la mayor diferencia se observa en el grafo justificado. Los resultados 1 - 3 se consideran espacios más integradores al tener menos profundidad, y al contrario del resultado 2 - 4 con 6 niveles de profundidad. Sin embargo, los datos revelados en las tablas c-d-e-f dan cuenta de la importancia de los espacios comunes como dormitorios o cocina, lo que desde el punto de vista del diseño arquitectónico es, a lo menos, contraproducente.

### **Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Plaza Chacabuco**

En el segundo set de iteraciones, también se seleccionaron 4 UGI destacados con color naranja (figura 22), se observa que tres de los conjuntos se encuentran con espacios adyacentes y solo uno tiene con traslape.

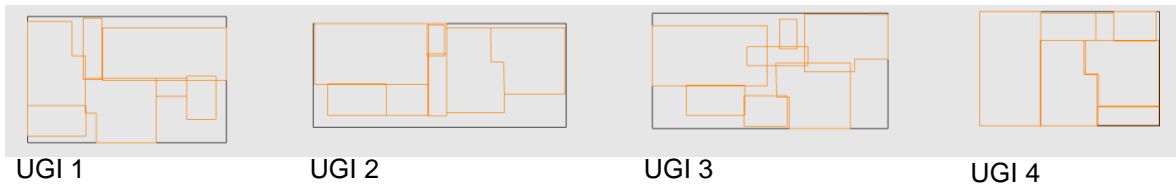


Figura 22: Unidad geométrica iterada

Al realizar el mapa convexo, se puede observar que la conexión de espacio se jerarquiza en los R1, R2 y R4, al colocar los nodos de cada espacio, al conectarlos se debe elegir el acceso según el conjunto original para establecer conexiones correctas entre espacios adyacentes, situación que se flexibiliza en el R3, la geometría traslapada establece potenciales conexiones.

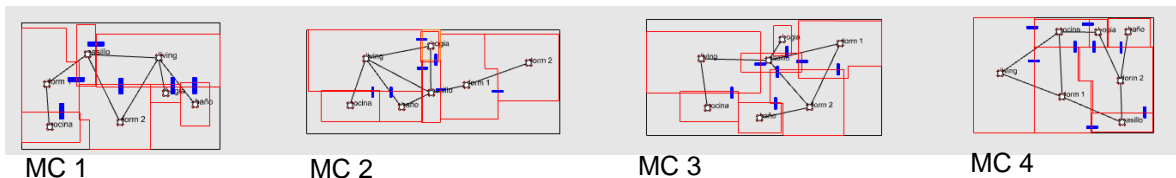


Figura 23: Mapa de espacios convexos

En la segunda parte (figura 24) en el diagrama de burbujas se puede observar que la sala de estar se conecta con dos o más espacios, en R,1 y R3, se conecta con los dormitorios mientras que en R2 y R3 se conecta con dormitorio y cocina. Siguiendo en la figura 20, en el grafo justificado R1, R2



Figura 24: Diagrama de burbujas, grafo justificado,

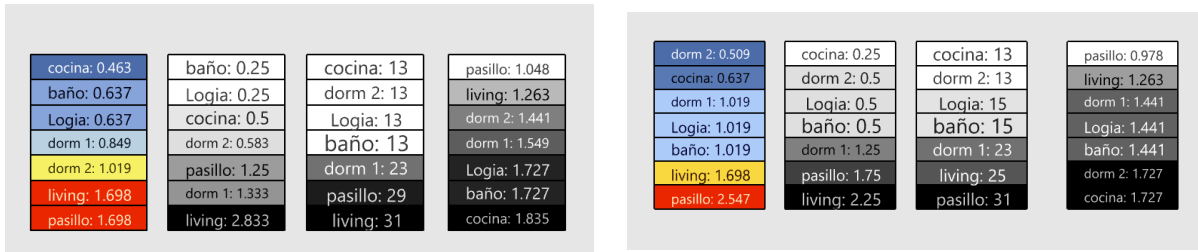


Figura 25: Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

y R3 son grafos *no distribuidos*, condicionando a pasar por el dormitorio. Sin embargo, R4 el grafo es *distribuido*, es decir, tengo dos opciones de circulación (dormitorio y cocina).

En la sección de tablas (figura 25) indican que en R1, R2 y R3 el espacio integrado es el pasillo con 1.6; 2.5 respectivamente, mientras que en R4 es Logia con 1.2. Los resultados pueden ser viables para proponer plantas de viviendas solo en el caso de los primeros tres resultados.

Luego, el nodo más fuerte en R1 es el living al igual que R2 con 2.8 y 2.2 respectivamente, mientras que en R3 es el pasillo con valor 3 y R4 es el dormitorio con valor 2.

También en la siguiente tabla, indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, en los R2 y R3 es pasillo con valor 31 y 39 respectivamente, así mismo, R1 se encuentra el nodo en el living con valor 31 y en R4 es en dormitorio con valor 29.

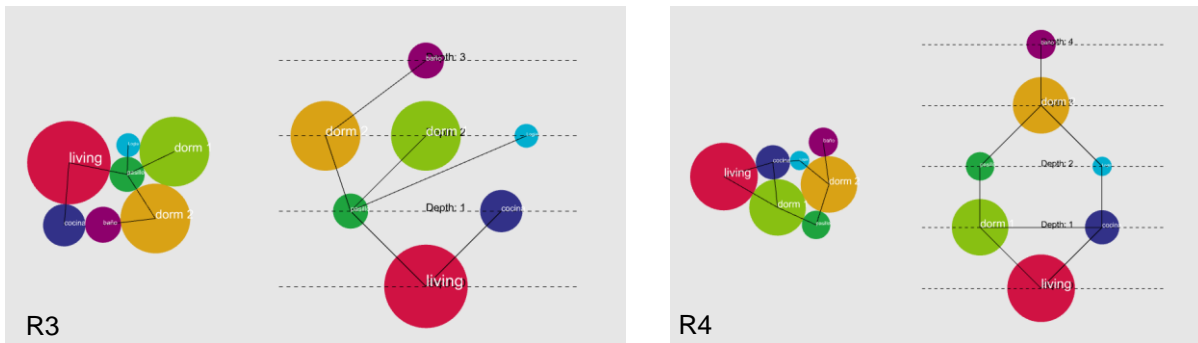


Figura 26: Diagrama de burbujas, grafo justificado.

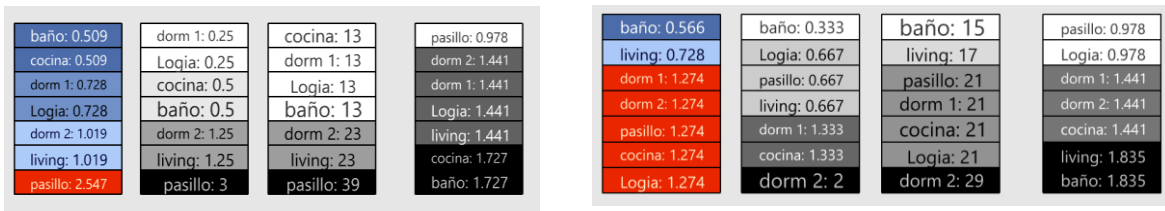


Figura 27: Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En la última tabla, indica en R1 y R2 es cocina con 1.8 y 1.7 respectivamente, R3 y R4 es baño con 1.7 y 1.8 respectivamente, este análisis indica que dichos espacios son más difíciles de llegar a desde otro espacio quedando en la parte superior del grafo.

En comparación, en la primera configuración espacial (R1 y R2) se puede observar en los diagramas de burbujas que la sala de estar es el espacio con más conexiones hacia los demás, siendo que en R3 y R4 dicho espacio es el dormitorio. Por otro lado, en el *grafo justificado*, R1, R2 y R3 consideran configuraciones segregadas, ya que me conducen a circular por solo un espacio “privado” a uno público. Mientras que R4, es una configuración espacial *distribuida*, porque se conecta a dos espacios en dos niveles de profundidad, siendo uno de ellos más “publico”.

Resultados de unidades geométricas iteradas del conjunto Villa Arauco

En este último set de iteraciones, los espacios de la planta original tienen dimensiones similares; en los 4 casos seleccionados (figura 28) se encuentra geometría traslapada y adyacente.

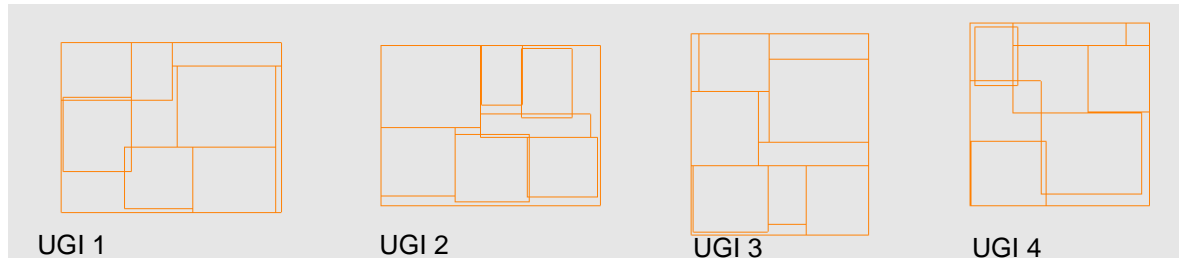


Figura 28: Unidad geométrica iterada.

Al realizar le mapa de espacios convexos, las conexiones entre espacios son simultánea, esto puede aproximar a una sobre conectividad de los espacios.

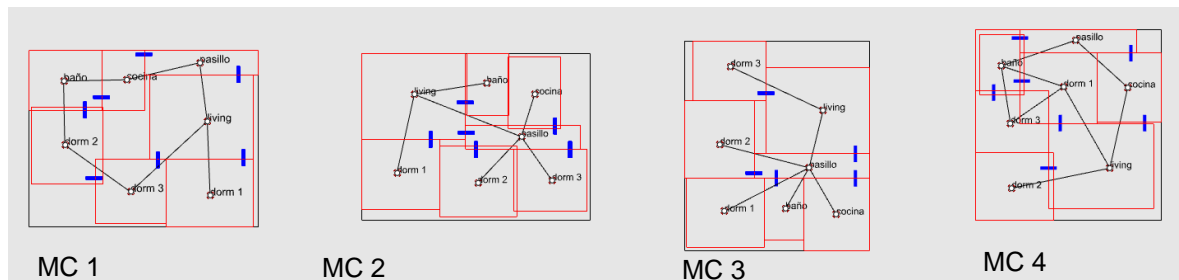


Figura 29: Mapa de espacios convexos.

Mediante el diagrama de burbujas (figura 30), se visualiza que las R1 y R4 tiene la sala de estar conectadas a 3 espacios, R2 y R3 tienen el pasillo con 4 y 5 conexiones a los demás espacios. Esto se traduce al *grafo justificado* y se traduce en: R1 y R2 es un grafo *distribuido* espacialmente porque tiene dos conexiones principales para poder circular al demás espacio, siendo R2 más integrador, ya que solo tiene 3 niveles de profundidad. R4 es un grafo simétrico, porque desde el nivel 2 de



Figura 30: Diagrama de burbujas, grafo justificado.

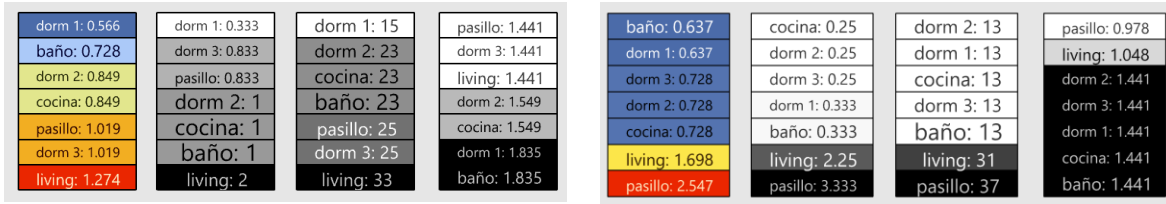


Figura 31: Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

profundidad se conectan los espacios entre sí. Sin embargo, R3 es un grafo *no distribuido*, pero el espacio que tiene más conexiones es el pasillo, que deriva a los espacios más privados, esto en diseño arquitectónico es viable para proponer plantas de viviendas.

En la figura 31, la primera tabla indica en color rojo que en R1 se indica el living con valor 1.27, R2 y R3 el valor alto se encuentra en pasillo con valor 2.54 y 5.09 respectivamente, mientras que en R4 el valor mayor se encuentra en dorm 1 con valor 1.69, esto significa, que los espacios mencionados son más propensos a ser espacios públicos. Los valores son similares al primer conjunto evaluado.

En la segunda tabla, R1 y R4 el living cuenta con 2 y 1.8, en R2 y R3 tiene el pasillo con 3.33 y 4.5 respectivamente. Valores similares al primer conjunto evaluado.



Figura 32: Diagrama de burbujas, grafo justificado.



Figura 33: Tabla de Integración, Tabla de Control, Tabla de Choice, Tabla de Entropy

En la tercera tabla, se indica el camino más corto entre otros espacios desde un nodo, en este caso, R1 y R4 es sala de estar con 33 y 27, R2 y R3 es pasillo con valor 33 y 41 respectivamente.

En la última tabla, se indica el análisis que el valor alto es más difícil llegar a otros espacios desde ese espacio y viceversa. En los resultados obtenidos, en R1, R2 y R3 es baño y en R4 es dormitorio 3 con 1.5.

En comparación, de las 4 configuraciones espaciales los grafos justificados indican que R3 y R4 serian opciones de diseño viable al categorizarse como configuración distribuida y que cuentan tres niveles de profundidad, por ende, la configuración es integral.



## Resumen de resultados

En conclusión, se obtuvieron 50 iteraciones por cada conjunto habitacional; en el caso de Población lo Valdivieso y Plaza Chacabuco, se seleccionaron 4 configuraciones espaciales y mediante la evaluación con *grafos justificados* se pudo evidenciar que 3 configuraciones son *no distribuidas*, mientras que R4 en ambos conjuntos arroja una configuración *distribuida*. Se puede inferir que este resultado tiene espacios integrados, y tanto su configuración espacial como las conexiones entre recintos hacen de esta una opción viable como propuesta de diseño arquitectónico.

Además, en el conjunto Villa Arauco, 50 iteraciones y de sus 4 configuraciones espaciales seleccionadas, 2 resultados obtuvieron grafos *distribuidos* y los otros 2 grafos *no distribuidos*, es decir, dos configuraciones evidenciaron ser integradas espacialmente. Sin embargo, al analizar las tablas de Integration, Choice, Control y Entropy los valores obtenidos fueron similares al primer conjunto, es decir, se repitió el mismo espacio con múltiples conexiones.

## Conclusiones

En primera instancia, es posible reconocer el déficit habitacional como un problema multiescalar, que afecta a las relaciones socio espaciales y, por consiguiente, al usuario. A partir de lo anterior, se puede inferir que dichas relaciones dentro de las viviendas, en específico, relaciones de espacios, corresponden a una variable cualitativa que puede ser analizada y estudiada en el problema arquitectónico. Como se mencionó en este estudio, la etapa inicial de este proceso es donde se pueden articular aspectos geométricos y programáticos, aplicables como input a un proceso de diseño generativo.

Uno de los descubrimientos en el aprendizaje durante el proceso de investigación fue que, respecto del uso de esta herramienta de análisis espacial de tipologías arquitectónicas (particularmente de departamentos para esta instancia) y su configuración respecto a una propuesta, existe un potencial de mayor alcance para incorporar en otro tipo de proyectos; esto es, poder contar con un elemento que jerarquiza matrices de variables y datos tan complejos como aquellas del proceso proyectual. Tener dentro del conjunto de herramientas proyectuales una que ordene, organice y gestione los diferentes factores a considerar puede ser vital a la hora de mejorar tiempos, decisiones y plazos a cumplir, pero también a la hora de evaluar mejoras en los cuestionamientos propios de una vivienda, en tanto experiencia y percepción de los habitantes.

Esto responde la pregunta presentada al inicio de esta investigación, ¿Cómo el diseño generativo puede ser una herramienta de diseño en el anteproyecto de viviendas colectivas? El diseño generativo si puede ser una herramienta exploratoria, aplicable en todas las etapas del proceso de diseño siendo los resultados distintos en cada una. Sin embargo, se obtienen diferentes configuraciones espaciales, como se observa en los resultados obtenidos, y se podría empezar a diseñar desde ese punto, pero es necesaria la evaluación con sintaxis espacial para analizar las redes de conectividad generadas, y así para poder diseñar de manera eficiente.

La contribución de esta investigación sirve desde dos aspectos. El proceso de diseño generativo con sintaxis espacial se puede aplicar a cualquier caso de vivienda, siempre y cuando se puedan reconocer los parámetros y restricciones al analizar. Por otro lado, se podría aplicar al programa de rehabilitación habitacional, ya que esos conjuntos construidos han tenido deficiencias cualitativas y

cuantitativas que afectan la habitabilidad y calidad de vida de los usuarios, pudiendo este proceso investigado volver a reevaluar y rediseñar esos conjuntos críticos de manera adecuada, pensando en las necesidades de los habitantes.

Es importante decir que, dentro de los resultados obtenidos y especialmente en el desarrollo del proceso iterativo, se reafirma que esta es una metodología de trabajo compleja; requiere un dominio técnico del software a utilizar, además de una claridad respecto al algoritmo a diseñar, para dar paso al análisis de los demás datos y variables. Esto considerando que se utilizó el plugin Galápagos, pues es posible que en otra plataforma similar como Dynamo y Revit sea posible mejorar la optimización de tiempos. Sin embargo, en cualquiera de los estos casos resulta un flujo de trabajo mucho más eficiente que enfrentar estos procesos de forma análoga. Ello nos permite incrementar nuestro stock de conocimientos con potencial creativo, puesto que se consigue una vasta cantidad de posibilidades arquitectónicas, ampliando las posibilidades imaginativas mucho más allá de lo que el individuo, sin la inteligencia aumentada por la máquina, podría concebir.

## Referencias

Caetano, I, L. S. (2020). Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design. *Frontiers of Architectural Research*, Volume 9, Issue 2, 287-300chaillou/docs/stanislas chaillou thesis\_

Chaillou, S. (8 de Jun de 2019). AI + Architecture. [Tesis] <https://issuu.com/stanislas>

Bentley,P & Corne, D. (2001). An Introduction to Creative Evolutionary Systems. 10.1016/B978-155860673-9/50035-5.

Danil Nagy, L. V. (Mayo de 2017). Generative Design. Autodesk University. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Generative-Design-Architectural-Space-Planning>

Déficit cero. (2022). Déficit Habitacional, ¿Cuántas familias necesitan una vivienda y en qué territorio? [deficitcero.cl](http://deficitcero.cl)

Eastman, Charles. (1969). Cognitive Processes and I11-Defined Problems: A Case Study from Design.. 669-690.

Eiben, A. E., & Smith, J. E. (2003). *Introduction to evolutionary computing* (Vol. 53, p. 18). Berlin: springer.

García, Carlos, García, Edwin, & Villada, Fernando. (2012). Algoritmo Evolutivo Eficiente Aplicado a la Planeación de la Expansión de Sistemas de Distribución. *Información tecnológica*, 23(4), 3-10. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400002>

Gero, J. (1990). Design prototypes: A knowledge representation schema for design. *AI Magazine* Volume 1 number 4 , 27 - 36.

- Heitor, T. Duarte, J., Marques, R. (2004). Combining Grammars and Space Syntax: Formulating, Generating and Evaluating Designs. *International Journal of Architectural Computing* vol. 2 - no. 4, 492-515. 2.
- Hilderick A. van der Meiden, W. F. (2010). Tracking topological changes in parametric models. *Computer Aided Geometric Design* 27 , 287 - 293.
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine: a configurational theory of architecture*. Space Syntax.
- Ito, J. (2017). Resisting reduction: A manifesto. *Journal of Design and Science: MIT Media Lab*. November 01, 2017. Retrieved May 1, 2018, from <https://jods.mitpress.mit.edu/pub/resisting-reduction>
- Knight, T. W. (1992). Designing with grammars .CAAD futures Digital Proceedings 1991. 33 - 48
- Krish, S. (2011). A practical generative design method. *Computer-Aided Design*, 43(1), 88-100.
- Nagy, V. B. (2017). Project Discover: An Application of Generative Design for. Autodesk Studio.
- Nourian, P., Rezvani, S., & Sariyildiz, S. (2013). Designing with space syntax.
- Peries, L. Estereotomia y topología. Tesis doctoral. Universidad catolica de cordoba. [Estereotomía y topología en arquitectura by Lucas Peries - Issuu](#)
- Philip F. Yuan, M. X. (20219). *Architectural Intelligence, Selected Papers from the 1st International Conference on Computational Design and Robotic Fabrication*. Springer.
- Purcell,A, Gero, J.S. (1998). Dibujos y procesos de diseño. Departamento de ciencias de arquitectura y diseño, Universidad de Sydney.
- Reitman, W. (1965). *Cognition and thought. An information processing approach*. New york: Wiley & Sons, Inc.,
- Shoume, P. (17 de abril de 2020). Improve product quality and yield with intelligent, secure, and adaptable manufacturing operations. Obtenido de IMB: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-manufacturing-ready/>
- Simon, H. (1973). La estructura de los problemas desestructurados. *Artificial Intelligence* 4, 181-201.
- Soza, P. (2018). Towards a new generation of geometrical constraints in parametric.
- Stiny, G.: 1980, Introduction to shape and shape grammars, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 7, 343–351.
- Tching, J., Paio, A., & Reis, J. (2012). A Shape Grammar for Self-Built Housing.
- Tugrul, Y. (22 de mayo del 2012). Packing objects with Galapagos. [designcodingPacking Objects with Galapagos - designcoding](#)
- Valenzuela, C. (2004). Plantas transformables: La vivienda colectiva como objeto de intervención. *ARQ (Santiago)*, (58), 74-77.

Vishal Singh, Ning Gu. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*, Volume 33, Issue 2, Pages 185-207.