



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL

DISEÑO H+: INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL PROCESO DE DISEÑO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN DISEÑO INDUSTRIAL

PRESENTA:
DAVID HOLGUÍN OJEDA

TUTORA PRINCIPAL:
MTRA. ANA MARÍA LOSADA ALFARO
FACULTAD DE ARQUITECTURA

CÓMITE TUTOR:
DRA. WENDY ELIZABETH AGUILAR MARTÍNEZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE MATEMÁTICAS AVANZADAS Y SISTEMAS

MTRA. SANDRA LUZ MOLINA MATA
FACULTAD DE ARQUITECTURA

MTRO. ERICK IROEL HEREDIA CARRILLO
FACULTAD DE ARQUITECTURA

DR. MAURICIO REYES CASTILLO
FACULTAD DE ARQUITECTURA

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice general

| | |
|--|-----------|
| 1. Introducción | 15 |
| 2. Diseño | 19 |
| 2.1. Los Nuevos Principios del Diseño | 20 |
| 2.2. Una Definición de Diseño | 21 |
| 2.3. Diseño y Creatividad | 21 |
| 2.4. Los Modelos del Proceso de Diseño | 23 |
| 2.5. Modelo de Gero | 28 |
| 2.6. El Proceso Ccreativo de la Arquitectura | 32 |
| 2.7. El Proceso de Diseño | 32 |
| 3. Inteligencia Artificial | 37 |
| 3.1. Historia | 38 |
| 3.1.1. Alan Turing, el padre de la IA | 38 |
| 3.1.2. Surgimiento de una nueva disciplina | 39 |
| 3.1.3. Primeros sistemas inteligentes | 40 |
| 3.1.4. El invierno de la IA | 41 |
| 3.1.5. Resurgimiento de la IA en los 80 | 42 |
| 3.1.6. IA en la década de los 90 | 42 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.1.7. | IA en la década del 2000 | 42 |
| 3.1.8. | IA en la actualidad | 43 |
| 3.2. | Enfoques de la IA | 46 |
| 3.3. | Principales técnicas de la IA | 47 |
| 3.3.1. | Cómputo Evolutivo | 47 |
| 3.3.1.1. | Algoritmos Genéticos | 49 |
| 3.3.1.2. | Algoritmos Evolutivos | 50 |
| 3.3.2. | Recocido Simulado | 51 |
| 3.3.3. | Agentes Inteligentes | 52 |
| 3.3.4. | Gramáticas | 53 |
| 3.3.5. | Razonamiento Basado en Casos | 54 |
| 3.3.6. | Lógicas Difusas | 55 |
| 3.3.7. | Metaheurística, Búsqueda y Optimización | 56 |
| 3.3.8. | Aprendizaje Automático | 57 |
| 3.3.9. | Algoritmos de Reconocimiento | 58 |
| 3.3.10. | Redes Neuronales Artificiales | 59 |
| 3.3.11. | Redes Adversas | 60 |
| 4. | Caso de estudio: Diseño Arquitectónico | 61 |
| 4.1. | Metodología | 65 |
| 4.2. | Sistemas de IA en el Diseño Arquitectónico | 72 |
| 4.2.1. | <i>The Architecture Machine</i> | 74 |
| 4.2.2. | ABD (<i>Automatic Building Design</i>) | 76 |
| 4.2.3. | UHDFP (<i>A system to understand hand-drawn floor plans</i>) | 77 |
| 4.2.4. | RTRT (<i>The Right Tool at the Right Time</i>) | 79 |
| 4.2.5. | Shaper (<i>3D Architecture Form Synthesizer</i>) | 80 |
| 4.2.6. | ALDO (<i>Architectural Layout Design Optimization</i>) | 82 |
| 4.2.7. | GS (<i>Generative System: Using Adaptation to Shape Architectural Form</i>) | 83 |
| 4.2.8. | BEDS (<i>Generative and Evolutionary Techniques for Building Envelope Design</i>) | 85 |
| 4.2.9. | EsQUIsE (<i>The absent interface in design engineering</i>) | 86 |
| 4.2.10. | GACSLPP (<i>Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning</i>) | 88 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.11. IA (<i>Instant Architecture</i>) | 89 |
| 4.2.12. SE (<i>Shape Evolution</i>) | 90 |
| 4.2.13. CAGHDBF (<i>Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form</i>) | 91 |
| 4.2.14. eiForm (<i>generative design tools</i>) | 93 |
| 4.2.15. AECIDA (<i>Architectural Exploration and Creativity using Intelligent Design Agents</i>) | 94 |
| 4.2.16. PHG (<i>ProceduralHouse Generation: A method for dynamically generating floor plans</i>) | 96 |
| 4.2.17. PD (<i>Performance-based Design: Current Practices and Research Issues</i>) | 97 |
| 4.2.18. AR (<i>Automatic Real-Time Generation of Floor Plans Based on Squarified Treemaps Algorithm</i>) | 98 |
| 4.2.19. CGRBL (<i>Computer-Generated Residential Building Layouts</i>) | 99 |
| 4.2.20. ABC (Armario, Baño, Cocina) | 101 |
| 4.2.21. ParaGen (<i>Using parametric modeling and genetic algorithms</i>) | 102 |
| 4.2.22. MOEA (<i>Multi-objective Evolutionary Search with Fuzzy Information Processing</i>) | 103 |
| 4.2.23. ADDRH (<i>Automated Design and Delivery of Relief Housing : The Case of post-Earthquake Haiti</i>) | 104 |
| 4.2.24. GENE_ARCH (<i>Generation of Energy-Efficient Patio Houses</i>) | 106 |
| 4.2.25. GRAMATICA (<i>A general 3D shape grammar interpreter targeting the mass customization of housing</i>) | 108 |
| 4.2.26. CABuild (<i>Computational Intelligence Technology for the generation of building layouts combined with multi-agent furniture placement</i>) | 109 |
| 4.2.27. Rocksolver CAMDAC software (<i>Using Artificial Intelligence to Build With Unprocessed Rock</i>) | 110 |
| 4.2.28. BESHG (<i>Building envelope shape design</i>) | 112 |
| 4.2.29. CAD/E (<i>Hybrid CAD/E platform supporting exploratory architectural Design</i>) | 113 |
| 4.2.30. EPSAP (<i>Automated approach for design generation and thermal assessment of alternative floor plans</i>) | 114 |
| 4.2.31. D_p.layout (<i>Architectural Layout Evolution Through Similarity-Based Evaluation</i>) | 116 |
| 4.2.32. IRRGA (<i>Implicit Redundant Representation Genetic Algorithm</i>) | 118 |
| 4.2.33. ABTF (<i>Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system</i>) | 119 |
| 4.2.34. GARH (<i>A genetic algorithm application for automatic layout design of modular residential homes</i>) | 120 |
| 4.2.35. ANNAD (<i>Artificial Neural Networks as an Architectural Design Tool-Generating New Detail Forms Based On the Roman Corinthian Order Capital</i>) | 122 |
| 4.2.36. DreamSketch | 123 |
| 4.2.37. AIAGCDL (<i>Artificial Intelligence in Architecture: Generating conceptual Design via Deep Learning</i>) | 125 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.38. SOEDAFDAM (<i>Style-Oriented Evolutionary Design of Architectural Forms Directed by Aesthetic Measure</i>) | 126 |
| 4.3. Productos comerciales | 128 |
| 4.3.1. Dynamo Studio | 128 |
| 4.3.2. Grasshopper | 129 |
| 4.3.3. Fusion 360 | 130 |
| 4.4. Discusión | 132 |
| 5. Arquitectura H+ | 139 |
| 6. Conclusiones | 175 |
| Bibliografía | 179 |
| 7. Anexos | 189 |
| 7.1. Modelo de French | 193 |
| 7.2. Modelo de Cross | 194 |
| 7.3. Modelo de Asimov | 195 |
| 7.4. Modelo de Archer | 195 |
| 7.5. Modelo de Pahl y Beitz | 198 |
| 7.6. Modelo Verein Deutscher Ingenieure - Asociación Alemana de Ingenieros | 198 |
| 7.7. Modelo Simétrico | 198 |

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme la oportunidad de esta gran experiencia. A mi madre Bernarda Ojeda, por el apoyo incondicional que me ha brindado. A mis tutoras, muy especialmente a la Dra. Wendy Aguilar, por aceptar participar en este proyecto de investigación, su aportación y asesoría han sido de gran motivación en mi formación como Maestro en Diseño. A las Maestras Ana María Losada y Sandra Molina, a mi tutor el Maestro Iroel Heredia, por su tiempo y dedicación. De igual manera a la Dra. EunSook Kwon, Directora del programa de posgrado de Diseño Industrial en la Universidad de Houston, a Georges Detiveaux y Kevin Dothage, por el apoyo que me brindaron en mi estancia internacional de investigación en la Ciudad de Houston, Texas. Extiendo mis agradecimientos a los maestros del Posgrado en Diseño Industrial, a sus directivos, administrativos y a mis estimados compañeros.

Dedico este trabajo a mi madre y a la memoria de mi padre, a las y los diseñadores que como yo tengan la inquietud de cuestionar su proceso para desarrollar proyectos de Diseño.

Resumen

La definición de Diseño y el papel del diseñador han sufrido una transformación al transcurrir el tiempo, en este trabajo se analizan ambos conceptos, en conjunto con una serie de parámetros como son: los principios del Diseño y el estudio de la creatividad. Esto ha derivado en el estudio presentado de los modelos del proceso de Diseño y la construcción de un modelo propio, que engloba tres fases principales de este proceso, la Fase Analítica, la Fase Creativa y la Fase Ejecutiva, así como una serie de acciones que se pueden realizar en cada una de éstas.

Por otra parte, ha sido justo un análisis de la historia de la Inteligencia Artificial (IA) como una disciplina importante en el desarrollo de tecnología, para conocer sus enfoques y las técnicas o métodos que se emplean, para el desarrollo de los sistemas inteligentes; es decir, los sistemas que utilizan IA. Este trabajo contiene la descripción de algunas de las técnicas de IA y el análisis de 38 sistemas desarrollados por investigadores en este dominio, así como tres de los productos comerciales de IA que existen en la actualidad, considerando que estos participan en el proceso de Diseño Arquitectónico, pues la investigación se ha acotado a esta área. Debido a esto se han podido observar los nichos de oportunidad que existen para el desarrollo de estos sistemas.

Como resultado de la inclusión de la IA en sistemas computacionales que pueden ayudar a trascender nuestras capacidades humanas y nos podrían llevar a otros alcances en la definición del Diseño, una por la que, tomando inspiración en los trabajos de (More, 2010), (Piedra, 2016), (Diéguez, 2016)), se titula Diseño H+(Transhumano). Se presenta también de manera teórica un sistema inteligente en el dominio de la Arquitectura nombrado AH+, desarrollado en base al proceso de

Diseño propuesto de igual manera en este trabajo, donde arquitectos y arquitectos artificiales trabajen en conjunto para el desarrollo de proyectos.

Introducción

Desde los inicios de la humanidad, nos hemos esforzado en desarrollar objetos y herramientas que nos ayuden a lidiar con situaciones que se nos presentan en nuestro entorno, y de esta manera, mejorar nuestras condiciones de vida (37). Durante la segunda mitad del siglo XVIII y principios del siglo XIX, a consecuencia de la Revolución Industrial, los métodos de producción de objetos se masificaron, reemplazando al artesanado por máquinas capaces de crear objetos de forma masiva y en menor tiempo. Así pues, podríamos situarnos específicamente en la Gran Exposición Internacional de 1851, en dónde se exhibieron los primeros productos industriales (37).

Sin embargo, fue hasta los inicios del siglo XX cuando surgió la profesión de Diseñador. Su propósito se limitaba a analizar, configurar y desarrollar objetos que satisficieran necesidades, deseos o aspiraciones. Esto lo realizaba desde una mera pre-concepción sistematizada de las características estéticas y funcionales de los objetos a diseñar, tomando en cuenta aspectos sociales, tecnológicos, psicológicos, anatómicos y culturales, entre otros. De esta manera, podía desarrollar la descripción del producto (p.ej., en forma de esquemas o planos) para ser fabricados de forma masiva por máquinas. Es en este proceso en donde se identifica la esencia del Diseño.

Hasta hace poco, aproximadamente 50 años, la profesión de Diseño correspondía a la definición de Diseño Industrial, pero ésta ha sido rebasada por la complejidad del mundo que hemos construido, un mundo compuesto de características materiales e inmateriales, donde predomina la computación y abundan la información y las redes de comunicación. Ahora, ya no solo es

tarea del diseñador el desarrollo de productos, sino también el desarrollo de bienes, servicios, identidades, interfaces, sistemas de usuario múltiples, proyectos y discursos (54). El Diseño es entonces una actividad cuya definición se mueve en función del avance de la humanidad (101), y esto causa, en parte, que definirlo sea una tarea sumamente compleja. Como resultado de esto, existen múltiples posturas y definiciones en las que se puede reconocer la necesidad de apertura de la disciplina a ser interpretada desde distintos contextos. De igual manera, las diferentes formas de pensamiento de Diseño han dado pauta a los distintos procesos para Diseñar, cada uno según los objetivos que esperan ser observados, y aunque los procesos pueden ser distintos unos de otros, siempre podremos partir de un problema.

Los avances tecnológicos han propiciado no sólo la transformación de los productos de Diseño, sino también la aparición de herramientas que nos ayudan a los diseñadores a realizar nuestro trabajo (37). Éstas van desde la utilización de la tinta, hasta la sofisticación del diseño asistido por computadora (CAD), herramientas de modelado 3D, realidad aumentada y realidad virtual, con las que contamos en la actualidad. Asimismo, la tecnología también ha cambiado la forma en la que creamos, almacenamos, distribuimos y accedemos al conocimiento, propiciando la democratización del Diseño (23). Por ejemplo, la tecnología “desktop publishing” permitió que las secretarías pudieran realizar trabajos que antes eran creados sólo por diseñadores gráficos (54).

El resultado de la evolución de la tecnología, y por ende, de las herramientas tecnológicas que aumentan o trascienden nuestras capacidades humanas, nos podría llevar a otra definición del Diseño, una a la que en este trabajo de investigación, inspirado por los trabajos de (75), (80) y (29), he llamado Diseño H+ (Transhumano). En esta nueva visión, la idea es redefinir el proceso de Diseño, de tal forma que éste se lleve a cabo de manera cooperativa entre humanos y computadoras, tomando ventaja de aquellas habilidades para las que son más efectivos unos que otros. En particular, con el surgimiento de la Inteligencia Artificial (IA), a mediados del siglo pasado, se abrió un nuevo mundo de posibilidades, desde herramientas, hasta sistemas computacionales inteligentes capaces de diseñar por sí mismos o en colaboración con diseñadores humanos. Esto nos lleva a preguntarnos, ¿qué sistemas computacionales inteligentes que colaboran en el proceso de Diseño existen a la fecha?, ¿en qué actividades del proceso colaboran?, ¿qué técnicas de la IA se están usando para implementar dichas actividades?, ¿existen algunas etapas de Diseño en las que no estén colaborando estos sistemas actualmente?, ¿cuáles son los nichos de oportunidad y hacia dónde podríamos continuar la investigación?, y ¿cómo la inteligencia artificial pudiera colaborar con un diseñador humano en todas las etapas del proceso de Diseño? Para aclarar algunas de estas interrogantes y tener la capacidad de elaborar nuevas preguntas, se definieron los siguientes objetivos de investigación.

Objetivo General

Presentar una visión general del uso de la IA en la creación de sistemas computacionales que colaboran con diseñadores

humanos en el proceso del Diseño Arquitectónico.

Objetivos Particulares

- Proponer un diagrama del Proceso de Diseño que englobe las características generales de este y las acciones a realizar de una manera particular para obtener un producto de Diseño.
- Identificar aquellos sistemas computacionales que se han creado a la fecha y que haciendo uso de la IA ayudan o colaboran con los humanos en el Diseño Arquitectónico.
- Utilizando el diagrama propuesto, analizar en qué etapas del Proceso de Diseño están participando y cómo lo hacen.
- Identificar nichos de oportunidad.
- Elaborar una propuesta teórica de un sistema inteligente que colabore con las arquitectas y los arquitectos en todas las etapas del Proceso de Diseño.

Para lograr los objetivos planteados en este trabajo de investigación, en el capítulo 2 se analiza el proceso de Diseño propuesto por distintos autores, generando un diagrama propio de este proceso. En el capítulo 3 se da una breve introducción a la IA, incluyendo su historia, aproximaciones, logros y retos, así como sus técnicas más comunes. En seguida, utilizando el diagrama del proceso de Diseño propuesto, en el capítulo 4 se hará una revisión de los sistemas computacionales que utilizan IA para desarrollar propuestas de Diseño Arquitectónico, ya sea de manera autónoma o con la participación de un diseñador humano. Se eligió acotar la investigación al Diseño Arquitectónico por la enorme cantidad de investigación que se ha realizado en IA y el Diseño en general, y por ser éste en el que tengo más experiencia. Adicionalmente, se realiza un análisis de las etapas del proceso en las que participan los sistemas encontrados y de las técnicas de IA que utilizan para implementarlas. Esto permitirá identificar nichos de oportunidad, los cuales se considerarán para proponer en el capítulo 5 un sistema inteligente teórico capaz de colaborar con arquitectos humanos en todas las etapas del proceso de Diseño. Finalmente, en el capítulo 3 se presentan las conclusiones.

Espero que los resultados de esta investigación puedan servir de guía para todos aquellos interesados en el proceso de Diseño, su transformación a través del tiempo, así como en la implementación de nuevas tecnologías y sistemas de IA en éste.

Capítulo 2

Diseño

El vínculo entre la definición de Diseño y la de definición de Diseño Industrial, perduró desde la concepción del Diseño Industrial en el siglo XVIII hasta mediados del siglo XX. Ya muchos se han encargado de recolectar definiciones a través del tiempo para referirse al Diseño. A partir de esto es importante indicar que la definición de Diseño se ha transformado y lo sigue haciendo, pues se adecua a un contexto específico. Se ha hecho un análisis y una clasificación de las definiciones en orden cronológico observando los puntos de vista de diferentes autores a través del tiempo. (ver Figs. 7.1,7.2,7.3). En este análisis se pudieron recabar definiciones desde el año de 1947, en donde podemos observar que la mayoría de las definiciones hace alusión al mundo material, al diseño de producto y al nombre de proceso, sólo unas pocas abordan la importancia interdisciplinaria y la actitud crítica... en cuanto al papel que desempeña un diseñador, podemos concluir que la información contenida en la tabla le otorga el rol de proyectar, pues las definiciones se limitan a precisar que el Diseño termina en dónde la producción tiene su comienzo.

En este capítulo se presenta:

2.1. Los Nuevos Principios del Diseño

Al analizar la definiciones de Diseño de manera cronológica, podemos destacar que se hace referencia a un proceso, a una actividad y a una disciplina que involucra aspectos fundamentales como la armonía y la organización, éstas entonces se convierten en la responsabilidad o el papel de los diseñadores. Por mucho tiempo se generalizó que la forma sigue a la función y que el Diseño era exclusivo para la elaboración de productos funcionales de manera masiva y que éstos deberían contribuir al mundo material con sus cualidades estéticas. Entonces el rol de los diseñadores se podía entender como la realización de planos y prototipos para la fabricación de productos como: textiles, mobiliario, electrodomésticos, elementos arquitectónicos industrializados y piezas de arte, bajo la premisa de que la forma seguía a la función. La funcionalidad se sigue extendiendo en algunas áreas del Diseño como eje principal, pero es rebasado en otras, en búsqueda de un significado más profundo, en el contexto de una era digital (54).

Krippendorf define en su trabajo "la trayectoria de la artificialidad.^{el} Diseño en seis clases de problemas:

- 1. Objetos
- 2. Bienes, Servicios e Identidades
- 3. Interfaces
- 4. Sistemas de Usuario Múltiple
- 5. Proyectos
- 6. Discursos

Partiendo del análisis de las definiciones que pretenden explicar qué es el Diseño, el papel de las y los diseñadores, así como los nuevos principios del Diseño se puede generar un postura clara y firme.

2.2. Una Definición de Diseño

Entonces podemos decir que el Diseño, es una profesión que sigue un procedimiento, con el objetivo de definir las múltiples características de un producto de Diseño entre los niveles descritos anteriormente: objetos, bienes, servicios, identidades, sistemas, proyectos y discursos. El Diseño considera el periodo de vida completo del producto, y es en su proceso, donde radica la importancia de coleccionar y generar la información para dar respuesta a un problema de Diseño. (123).

2.3. Diseño y Creatividad

Para Kaufman y Beghetto (52), la creatividad es la interacción entre aptitud, proceso y entorno, por el cual un individuo o grupo produce un artefacto perceptible que es novedoso y útil, definido dentro de un contexto social. Se cree que ésta, es parte de lo que nos hace humanos, e incluso ha sido descrita como el recurso económico más grande del siglo 21 (95).

Kaufman y Beghetto (52) proponen cuatro tipos de creatividad (ver Fig. 2.1): Big-C, Pro-C, Little-c y Mini-c. La creatividad de tipo Big-C, se da como una combinación entre el dominio, el campo y la persona. El dominio se define en este caso particular como el Diseño, el campo serían los interesados en el dominio y la persona es la que define una teoría, idea o producto (de impacto histórico) que el campo reconoce como parte de éste y que el dominio integra. La creatividad de tipo Little-c se refiere a aquella que se aplica a los problemas de la vida diaria. La creatividad de tipo Mini-c es aquella que enmarca el proceso de aprendizaje, el cual es definido como de importancia y de valor personal. Finalmente, la creatividad de tipo Pro-C se atribuye a un nivel profesional, donde la persona ha adquirido los conocimientos en un área creativa durante un periodo considerable de tiempo aproximado a los 10 años. Esta clasificación nos permite analizar la creatividad desde una perspectiva de maduración creativa; es decir, el Diseñador exploraría el dominio a través de la creatividad de tipo Mini-c, para mudarse con el tiempo y la experiencia a la creatividad de tipo Pro-C, y si su contexto lo permite, alcanzar la creatividad de tipo Big-C. En este trabajo de investigación consideraremos aquellos sistemas computacionales que muestran creatividad de tipo Pro-C.

Las 4 C's de la creatividad nos permiten clasificar las actividades creativas en cualquier dominio. Para el dominio del Diseño en particular, (28) propone cuatro tipos de creatividad:

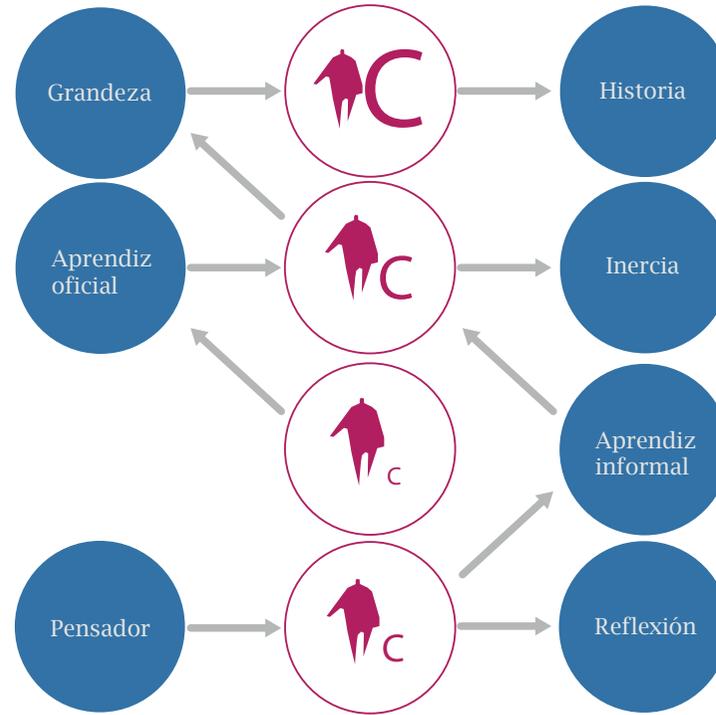


Figura 2.1: Ilustra los cuatro niveles de la creatividad. Como base se encuentra la Little-c con que definen el pensamiento y reflexión, con la posibilidad de conectar hasta la Big-C y alcanzar la grandeza o hacer historia en un dominio. Elaboración propia.

1. **Creatividad sin Diseño.** Se refiere a la creatividad meramente artística, la cual considera actividades como la pintura, la escultura, la música y la literatura, entre otras.
2. **Diseño rutinario.** Se define cuando el Diseñador tiene acceso a información preliminar que le definen el esquema para saber cómo será el artefacto de Diseño, así como el conocimiento de la jerarquía de los elementos de la estructura que

lo conforman; es decir, si las variables del Diseño y los valores que validan estas variables permanecen resueltas.

3. **Diseño innovador.** Se define cuando el Diseñador conoce sólo la estructura, sin conocer cómo será el artefacto de Diseño. En este caso, las variables permanecen solucionadas, pero el Diseñador modifica los valores que son considerados como válidos.
4. **Diseño creativo.** Se define cuando el Diseñador desconoce tanto cómo será el artefacto, como su estructura. Durante el proceso de Diseño se modifican las variables y sus respectivos valores.

Por otro lado, Gero (38) propone que la creatividad se puede ubicar en:

- El diseño.
- El diseñador.
- El proceso de diseño.
- El producto del diseño.
- La interacción entre el usuario y el diseñador.
- En la sociedad en donde el diseño tiene lugar.
- En la interacción de todo esto.

Para poder determinar el tipo de creatividad que muestran los sistemas que se analizarán en este trabajo de investigación, así como para poder identificar en qué componentes se ubican, es fundamental realizar un análisis de su participación en el proceso de Diseño.

2.4. Los Modelos del Proceso de Diseño

La creatividad es una habilidad muy valorada, ya que los procesos y productos resultado de ella, tienen la capacidad de transformar las realidades económicas y los valores del ser humano. El político austriaco Joseph Schumpeter introduce un término interesante, la “destrucción creativa” para definir el poder de la creatividad de provocar cambios y modificar los valores de lo que hubo anteriormente. Las investigaciones que rodean la creatividad en el diseño, están enfocadas a entender

la creatividad que se aporta al diseño como base para las nuevas generaciones de diseñadores que están destinadas a ser creativas. Se proponen ubicar la creatividad en los siete lugares con el potencial analizados por Gero (38):

Así como el diseño debe abordarse de una manera multidisciplinaria, el término de la creatividad en el diseño debe abordarse de una manera multidisciplinaria. Es natural relacionar a la actividad del diseño con la creatividad y de una manera frecuente escuchamos que un diseño es creativo, pero la evaluación rigurosa para considerar a un diseño como creativo, debe pasar por una serie de criterios. Este debe incluir novedad, utilidad y sorpresa, una relación comparable con el tratado de Vitrubio, mencionado anteriormente. Una de las conclusiones de la creatividad, está en el objeto producto de la acción del diseño.

Existe falta de evidencia para afirmar que la creatividad se encuentra sólo en un objeto de diseño, ya que se pueda involucrar a un asesor apartado de la práctica profesional del diseño; o en otro campo perteneciente al campo del diseño. Estos asesores interpretan el diseño como consumidores o como críticos profesionales. El resultado es la diferente forma de evaluar un diseño de manera distinta entre los asesores, que se encuentran dentro y fuera del diseño. Diseñar es un proceso y podría pensarse que hay un proceso especial que propicia la creatividad, identificado como “proceso creativo” que nos daría diseños creativos.

El proceso creativo sería: la combinación, la analogía, la inducción, la mutación y bases fundamentales. Después del proceso, el diseño necesitaría ser evaluado (38). El término de Diseño hace cincuenta años significaba Diseño Industrial; es decir, la creación de objetos funcionales de manera masiva y que éstos contribuyeran de manera estética a la cultura material. De aquí que la problemática de definir al Diseño podrá extenderse a través del tiempo, ya que es una profesión en una evolución constante (54). El Diseño entonces, es la manifestación de las necesidades derivadas en un producto, servicio, interfaz o proyecto. Escribir y hablar sobre los procesos de Diseño es también algo complejo, ya que por si mismo el Diseño lo es, por eso es por lo que debemos de partir primero de seleccionar una postura para definir el Diseño.

El Diseño ha evolucionado y se ha transformado a través del tiempo. Anteriormente el Diseño Industrial se entendía como: “Una actividad creativa, cuya meta es el establecimiento de las cualidades multifacéticas de los objetos, procesos, servicios y sus sistemas en sus ciclos de vida completos. Por lo tanto, el Diseño es el factor central de la humanización de tecnologías y el factor crucial de intercambios y tecnologías” (123).

Históricamente se ha determinado que le Diseño es complejo y que esta complejidad se acentuó desde el movimiento moderno con la manifestación del Romanticismo en el Arts and Crafts que se cataloga como la gran crisis del diseño en la era victoriana. Los arquitectos se separan de los ingenieros y considero que en esta separación radica bastante la problemática que se desencadena en la comprensión del diseño y los métodos de las profesiones, que de alguna manera u otra lo practican. El Diseño en su complejidad consta de distintos métodos y de estos podemos decir que son importantes en la educación de

los diseñadores y en el ámbito profesional, ya que nos otorgan el criterio de un camino a seguir para poder medir nuestro progreso y obtener resultados, asimismo existen consideraciones pertinentes que debemos tomar en cuenta, como la diferencia entre los métodos utilizados por las distintas profesiones que ejercen el diseño. Pueden existir limitaciones y el uso de éstos puede ser cuestionable por la raíz de su surgimiento (90).

Al explorar de una manera más profunda el Diseño, podemos observar que la complejidad de la actividad no es lo que la hace en sí confusa y definible de maneras múltiples, lo que es difícil de limitar son sus mismas fronteras, ya que son muchas las disciplinas en las que los diseñadores toman acción con sus ideas y sus métodos. La actividad del Diseño se torna flexible y se ha buscado la manera de definirla desde distintas perspectivas, estas perspectivas muchas veces han colaborado a determinar la confusión, misma que se puede identificar desde tres niveles: el producto, los métodos y los propósitos del Diseño. El afán por nosotros diseñadores es tangible, ya que nos hemos esforzado, no por modelar una definición, sino por tomar la postura más coherente en lo que atañe a nuestra profesión. Para definir una postura metodológica podemos empezar por identificar tres ejes de auxilio para su descripción: resultados, propósitos y métodos. El Diseño desemboca en resultados y es ideal que en éstos se identifiquen las siguientes características:

- Un carácter sintético de sus soluciones. La actividad de diseñar tiene como un fin el análisis que sirve como un medio para llegar a la síntesis.
- Un carácter retórico en las propuestas, que es la construcción de argumentos que caracterizan y dan sentido a los aspectos formales de la solución. El Diseño se sostiene en la exploración ya que al proponer una solución sigue siendo perfectible y no pretende llegar a la verdad.
- Un carácter de diálogo en su contexto, proponiendo estilos de vida que son aceptados o rechazados por la sociedad y la cultura.
- Un carácter expresivo, como el pensamiento de Diseño mismo desde los sentidos y la retórica. Los propósitos sobre los que existe el Diseño son de igual manera importantes y existe la necesidad de reflexionar sobre ellos, éstos toman el nombre de afectos otorgándoles un valor positivo.
- Afecto por lo humanístico dentro de todas las caras o de una manera holística en una constante reflexión sobre el ser humano. De tal manera que se logre un análisis de los efectos que tiene el Diseño sobre la sociedad.
- Afecto por el contexto, que no se limita a las restricciones que el contexto demanda proyectándose hacia los aspectos ecológicos y sustentables.

- Afecto por la competitividad, al mejorar lo existente con propuestas innovadoras. Siendo éste de alto impacto para la creatividad.
- Afecto por la exploración, dentro y fuera de las fronteras dibujadas por el Diseño, eliminándolas para ampliar el área de exploración. Éste forma parte importante del pensamiento de Diseño. De esta manera llegamos a otro de los aspectos para tomar en consideración “el método”, sea cual sea el método empleado determina el desempeño, la búsqueda de éste ha pasado de ser una obsesión a un segundo plano en las inquietudes del Diseño. Aún así, se pueden identificar las características básicas que enmarcan el camino para la actividad de diseñar.
- Romper las reglas de las guías, el rechazo a los métodos, aunque parezca paradójico; en la educación los métodos son esenciales para guiar a los estudiantes; pero en la práctica, es requerida la flexibilidad de adaptarse, por ejemplo a otros métodos y a otras disciplinas. En esto, es donde radica la importancia de no aferrarse a un método en específico.
- Diversidad de propuestas, los métodos y técnicas se derivan del estado del problema y sus restricciones. Apoyadas no por un método, sino por guías generales derivadas de otros campos.
- Diálogo entre habilidades y conocimiento. Como una relación entre las habilidades del oficio y el razonamiento analítico, esta relación dialéctica dentro del gremio es llamada “pensar con el lápiz”, de manera abstracta identifica la relación entre la deducción y la abducción del pensamiento. Los dibujos representan las ideas y el pensamiento en un diálogo constante.
- Prefigurar es un proceso mental de abducción, donde los diseñadores calificamos y clasificamos las ideas, desechando aquellas sin viabilidad para enfocarnos en las que, si son viables, la preconfiguración se determina como uno de los aspectos que nos caracteriza como diseñadores y es el dibujo el método que nos ayuda a dar sentido a una prefiguración, ya sea a mano alzada o con el uso de sistemas computacionales. La prospectiva es un aspecto importante para tomar en cuenta en la preconfiguración.
- Contingente (también un aspecto importante). “La ingeniería, la medicina, la administración, la arquitectura y la pintura, no se ocupan de lo necesario, sino de lo contingente –no por como son las cosas sino cómo podrían ser- en resumen, por el Diseño”. Esto se caracteriza por la prospectiva, el cuestionamiento de los paradigmas existentes y la apertura a la exploración de múltiples aspectos. En este contexto, surge el “pensamiento de diseño” abundante en la literatura de Diseño y que se ha adoptado por otras disciplinas. Las características que sobre este pensamiento podemos mencionar son:

- Curiosear. Que trasciende las líneas dibujadas en las profesiones que ejercen el Diseño; es decir, la apertura de utilizar los métodos de Diseño en cualquier área de éste.
- Evaluar. Es el juicio de las propuestas formalizadas en la etapa de síntesis o proceso proyectual.
- Ponderar. La valoración del producto de Diseño según los interesados en estos.
- Argumentar. Dar un valor significativo más allá del aspecto estético formal.
- Participar. Es la capacidad de comunicación con otras disciplinas que toman parte en el proceso de Diseño.

El Diseño se manifiesta en las necesidades, deseos y aspiraciones de los interesados, ya sean usuarios directos, empresas, organismos, así como de las aportaciones que tiene cada diseñador en su manera de ver el mundo (91). Han sido varios autores los que han plasmado modelos para explicar el proceso que compete al Diseño. El Diseño es entendido como un proceso, de éste podemos identificar tres partes que lo componen: la primera, es el acercamiento al problema donde se lleva a cabo un análisis para comenzar a plasmar una posible solución; después, identificamos la fase creativa de generación de soluciones y al final la comunicación de resultados como una mera actividad proyectual.

Han sido varios autores los que han estructurado modelos para explicar el proceso de Diseño. El Diseño es entendido como un proceso (ver Fig. 2.2): del cual podemos identificar cuatro partes principales que lo componen: la primera es el problema que deriva en la segunda parte, que es el acercamiento al problema donde se lleva a cabo un análisis y para así comenzar a plasmar una o varias posibles soluciones, después identificamos la fase creativa de generación de soluciones y al final la comunicación de resultados como una mera actividad proyectual, existe una iteración entre la comunicación de resultados y la generación de soluciones.

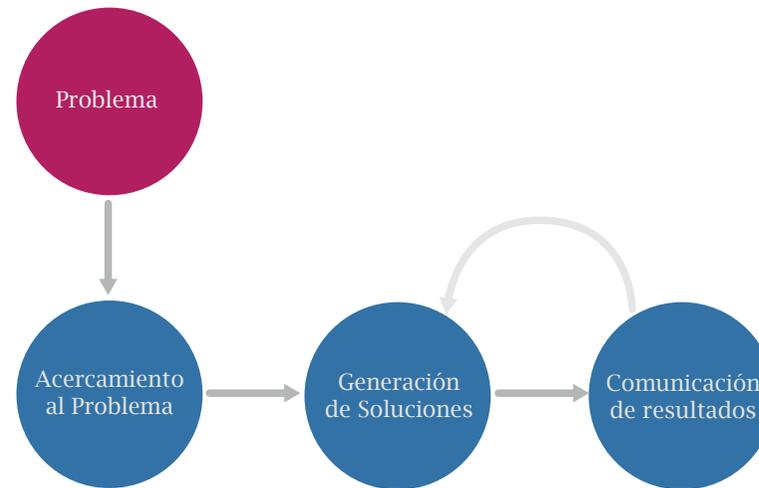


Figura 2.2: Ilustra el modelo general del proceso de Diseño, partiendo del problema y con una iteración entre la generación de soluciones y la comunicación de resultados. Elaboración propia.

2.5. Modelo de Gero

John S. Gero forma parte importante en el estudio de sistemas inteligentes para la comprensión del proceso de Diseño, es por eso que se ha construido este modelo (ver Fig. 2.3) que está basado en el análisis de Gero. Éste fue tomado en consideración para el análisis del caso de estudio, pero se decidió sustituirlo por el modelo propio construido en este trabajo de investigación. El modelo de Gero es relevante para el análisis del impacto de la IA en el proceso de Diseño, ya que éste se desarrolla en torno a la influencia considerable que los modelos computacionales del diseño creativo reflejan en la sociedad y cultura de su contexto.

De acuerdo con una construcción de un marco semi formal en dónde podríamos localizar este proceso; diríamos que el propósito del diseño es transformar una función F (donde F es un conjunto) en una descripción del Diseño D , de tal manera

que el producto que busca ser descrito cumpla con estas funciones. En el caso del diseño arquitectónico de una casa-habitación, se contemplan las funciones en base a un programa de necesidades; por ejemplo, un programa básico constaría de vestíbulo, sala, comedor, cocina, baño(s), lavandería, habitaciones. La descripción del diseño de este programa sería por medio de dibujos, planos, detalles constructivos, modelos virtuales etc.

$$F \rightarrow D$$

→ es la transición. De cualquier manera, no hay posibilidad de saltar repentinamente de F a D para lograr un buen resultado.

La descripción del diseño representa los elementos del producto de diseño y sus relaciones, esta etiqueta es descrita como estructura S . Los sistemas para el dibujo asistidos por computadora CAD, son los medios por los cuales la estructura es transformada en la descripción del diseño.

$$S \rightarrow D$$

Otro modelo de diseño se puede representar en:

$$F \rightarrow S$$

De manera ocasional existe una transformación entre la función y la estructura, esto recibe el nombre de “búsqueda de catálogo” y tiene momento en el nivel del elemento de un producto, no es considerado diseñar. Generalmente no existe una transformación entre la función y la estructura. Entonces se produce una transformación de manera indirecta. La Función también es definida como la relación que existe entre la meta de una persona y el comportamiento de un sistema. Al diseñar, el comportamiento puede ser dividido en dos formas: el comportamiento de la estructura B_s (donde B_s es también un conjunto) y es directamente procedente de la estructura:

$$S \rightarrow B_s$$

Éste es el análisis para presuponer la proyección de comportamientos para definir en el proceso de análisis. La segunda forma del comportamiento es conforme a la transformación de la función a comportamientos esperados, B_e (donde B_e es un conjunto). Los comportamientos esperados para nuestro ejemplo anterior del programa arquitectónico de una vivienda promedio serían entonces, la orientación adecuada de las áreas, la comunicación entre éstas, las dimensiones razonables, etc.

$$F \rightarrow B_e$$

Ésta parte del proceso corresponde a la formulación o especificación de tal manera que la predicción del comportamiento de

la estructura sea comparada con el comportamiento esperado requerido y así diagnosticar si la estructura sintetizada puede producir las funciones:

$$Be \leftrightarrow Bs$$

En esta parte del proceso donde \leftrightarrow *representa una comparación determinada como la evaluación. Otro modelo de Diseño podría representarse de la siguiente*

$$F \rightarrow Be$$

$$Be \rightarrow S(Bs)$$

Donde la función se torna en el comportamiento esperado; éste es usado de tal manera, para la selección y combinación de la estructura fundada sobre el conocimiento de los comportamientos determinados por la estructura. Esto es un proceso de síntesis cuando las estructuras son sintetizadas, producen comportamientos que derivan en un conjunto de comportamientos esperados, transformando los comportamientos esperados y por ende la función que está siendo diseñada es considerada la etapa de reformulación, que es también cuando en la evaluación de la comparación entre el comportamiento de la estructura y el comportamiento esperado no es satisfactoria y no puede hacerse satisfactoria con la manipulación de la estructura (39)

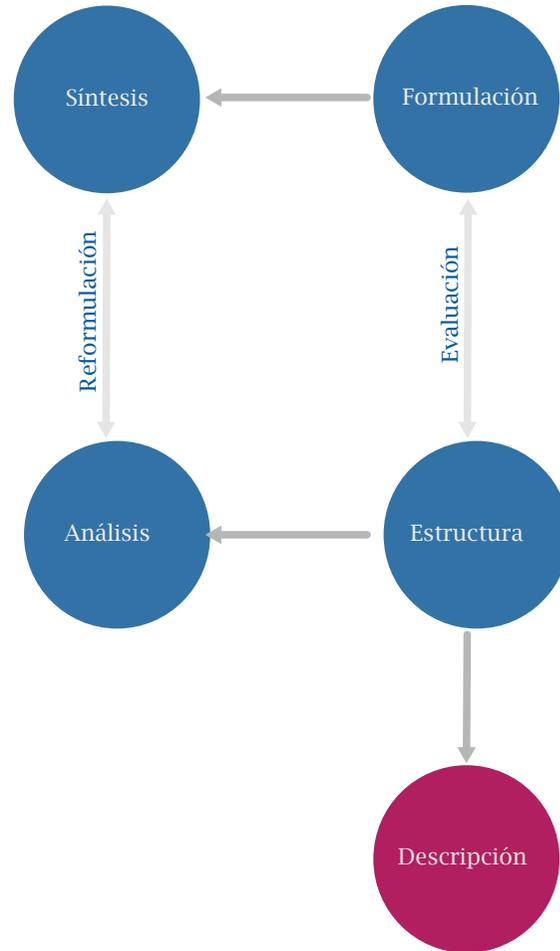


Figura 2.3: Ilustra el modelo de Gero, en el cual se formula el problema de Diseño, éste es sintetizado en las soluciones posibles para luego ser analizado o estructurado y finalmente ser descrito, existe una variación en las posibilidades para llegar a la descripción. Elaboración propia

2.6. El Proceso Creativo de la Arquitectura

Hemos hecho ya referencia con anterioridad a la creatividad y al proceso de Diseño, también a la importancia de cada uno de éstos; en este subcapítulo, conforme a la selección del caso de estudio, en el dominio de la arquitectura se hace referencia al proceso de Diseño como un proceso creativo con la aplicación de la retórica. Beristain (11) describe el discurso empleado en la arquitectura, con una serie de iteraciones entre las restricciones de Diseño determinadas por el contexto, el arquitecto y el usuario, así como los ejes del Diseño para ser sintetizados en el Objeto arquitectónico (ver Fig. 2.4).

La arquitectura es una expresión que el ser humano ha desarrollado, contemplada como una de las bellas artes, por su complejidad y diversidad que la hacen tan rica. Los avances tecnológicos y el uso de nuevos materiales nos permiten la composición de diseños extraordinarios.

En el proceso de la arquitectura, es propio identificar la aplicación de la creatividad, los proyectos tienen un valor más allá de brindar refugio al ser humano, sino que esta proyección ha trascendido a la creación de espacios para engrandecer al ser humano.

Es tarea consciente del arquitecto consiste en desempeñar su función de diseñador haciendo un uso propio de la creatividad, debe involucrar al contexto en el que se desarrolla el proyecto y el resto de elementos tan importantes que son parte de éste, tales como el medio ambiente, la cercanía de los materiales o la disponibilidad de éstos, las leyes que regulan los sistemas constructivos y operativos de un inmueble, la cultura, usos y costumbres, por supuesto de la tecnología, incluyendo los softwares computacionales y el uso de Inteligencia Artificial (11). En el proceso creativo y argumentativo del diseño arquitectónico, haciendo referencia a la fase de formulación debe responder a las siguientes preguntas: Quién o quiénes crean, para quién, por qué, para qué, con qué y en dónde (11).

2.7. El Proceso de Diseño

El Diseño está compuesto por un proceso. Dos grupos principales de procesos de Diseño pueden ser identificados: los descriptivos, en donde se presenta una solución temprana y los prescriptivos que se enfocan en el análisis de información antes de la presentación de soluciones. En este trabajo se han analizado procesos descriptivos a excepción de el modelo de Chicago, el modelo de Gero, French y el modelo de Díaz, descrito en el subcapítulo del proceso creativo de la Arquitectura.



Figura 2.4: Ilustra el modelo de Berestáin en donde podemos observar las iteraciones mencionadas entre las restricciones y los ejes del diseño que convergen en el objeto arquitectónico.

Los procesos de Diseño analizados, describen distintas etapas, éstas varían de acuerdo con la temporalidad; es decir, el tiempo en el que fueron propuestos y el autor que los desarrolló, como ocurre con las definiciones de Diseño.

En un proceso de Diseño se pueden identificar tres partes principales, en el modelo general, por ejemplo tenemos:

- El problema. Existe un primer acercamiento a una situación determinada que busca ser solucionada.
- Las soluciones. La creatividad del diseñador es puesta en marcha para la generación de ideas que puedan resolver el problema.
- Comunicación. Considerada como la actividad esencial, es la proyección formal de las ideas.

Por un lado, se determina que la comunicación de resultados es la mas importante y la parte destinada para la generación de soluciones se puede dividir en generación y evaluación, en otras opiniones es mas determinante el análisis del problema. Tanto la capacitación como la experiencia del Diseñador se vuelven determinantes en el proceso. Y es interesante cómo los modelos pueden promover el fin del ciclo de un producto de Diseño. Los modelos pueden ser simples, pero también se pueden volver muy complejos.

El análisis de estos procesos, se resume en la tabla (ver Fig 2.5), la cual describe en las tres partes estos procesos. La conclusión del estudio de estos procesos, es que la primera parte de un proceso requiere de una cantidad variable de datos para ser analizados. En la segunda parte estos datos son sintetizados de manera gráfica, volumétrica, virtual o en un modelo real. La tercera parte se vincula a la manera en que el resultado de la segunda parte es expresado a la audiencia para su comprensión.

En relación a este análisis, se ha construido un diagrama (ver Fig 2.6), éste es una selección de las partes que conforman un proceso de Diseño. La selección se llevó a cabo, conforme el significado de cada una, para así proponer un producto de Diseño. En el diagrama podemos observar: 1) Escenarios, en donde se representa un cambio en el estado del producto de Diseño. 2) Tres grupos denominados Fases: **Fase Analítica**, **Fase Creativa** y **Fase Ejecutiva**. 3) Las acciones que se pueden realizar en cada fase.

La **Aase Analítica** está conformada para encontrar los parámetros que darán forma al producto de Diseño con las siguientes acciones: **Problematizar** definiendo el problema de Diseño. **Objetivar** fijando objetivos y metas. **Explorar** conociendo el estado de arte en relación al problema. **Colectar** toda la información relevante en relación al problema. **Evaluar** la información recolectada.

La **Fase Creativa** denominada así, por ser en donde el análisis arroja resultados sobre el producto de Diseño, se conforma por: **Generar** la información necesaria para las características del producto de Diseño. **Conceptualizar** las primeras partes del producto de Diseño, por medio de esquemas. **Bosquejar** los primeros resultados a los sentidos. **Idear** opciones de acuerdo con la fase analítica. **Prototipar** la información recolectada en la forma mas aproximada del producto de Diseño. **Sintetizar** la información analizada en alguna de las acciones de la fase anterior.

La **Fase Ejecutiva** en donde se cuenta con las partes suficientes para formalizar una propuesta y así realizar el producto de Diseño, procederíamos a: **Detallar** la información generada en la fase creativa. **Incrementar** el alcance del objeto de Diseño. **Describir** en su totalidad el producto de Diseño. **Comunicar** a los interesados las características propuestas. **Elaborar** el producto de Diseño.

Este diagrama propone la conexión entre las fases, esto de acuerdo con el criterio del diseñador, que buscaría establecer su propio camino dentro de las acciones. Al momento de desarrollar un proceso, el diseñador tiene la posibilidad de realizar las iteraciones necesarias entre las diferentes acciones.

| Modelo | Año | Descripción | | |
|------------------------|------|-----------------------------------|--|----------------------------|
| General | | Problema | Soluciones | Comunicación |
| Asimov | 1962 | Necesidades, planeación, retiro | Proyecto preliminar | Proyecto detallado |
| Charles Eames | 1995 | Síntesis de la solución, problema | Alternativas, prototipos | |
| Gero | | Formulación, análisis | Síntesis | Documentación |
| Pahl and Beitz | 1995 | Clarificación de la tarea | Diseño de la forma y Diseño conceptual | Diseño de detalles |
| French | 1998 | Necesidades, análisis, problemas | Diseño conceptual, esquemas, detalles | Comunicación |
| Cross | 1999 | Exploración | Generación y evaluación | Comunicación |
| Chicago (Arquitectura) | 2019 | Información, problema, ideas | Soluciones, modelos, presentación | |
| Verein | | Problema, objetivos | Soluciones, alternativas, evaluación | Detalles |
| Simétrico Ingeniería | | Planeación | Bosquejos y Diseño | Elaboración |
| | | Investigación, problema, ideas | Prototipos, pruebas | Comunicación de resultados |
| Propio | | Fase analítica | Fase creativa | Fase ejecutiva |

Figura 2.5: En esta tabla se resume el análisis de los procesos de Diseño tomados en cuenta para este trabajo. Elaboración propia.

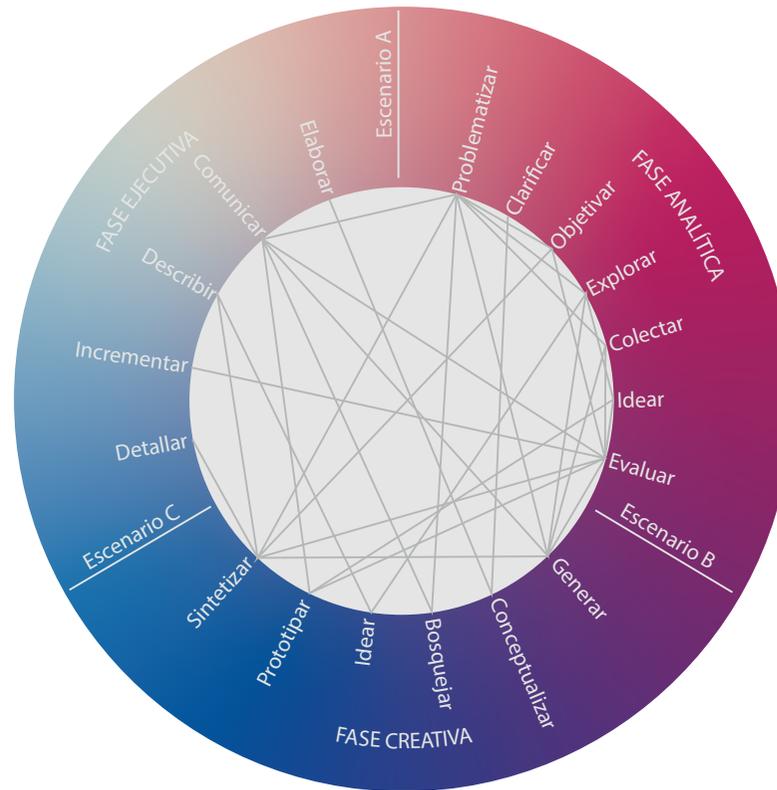


Figura 2.6: El proceso de Diseño. En este modelo se han concentrado las diferentes acciones de Diseño aplicables a las tres fases identificadas hasta ahora y el vínculo iterativo entre éstas para obtener un producto de Diseño. Elaboración propia

Capítulo 3

Inteligencia Artificial

Parece ser que la capacidad de imaginar de los seres humanos es ilimitada. Una muestra de esto, se puede observar en múltiples historias de ciencia ficción en las que se presentan máquinas que tienen comportamientos que hasta el momento son considerados como exclusivos de los humanos. Más aún, éstas en algunas ocasiones se presentan desempeñando tareas con una destreza muy superior a la nuestra. Hace algunos años, éstas ideas parecían estar alejadas de nuestra realidad; sin embargo, es cada vez más común encontrar máquinas que parecen ser inteligentes y que están desempeñando actividades que antes eran realizadas exclusivamente por personas. Al área de investigación que estudia la creación de este tipo de máquinas y sistemas, se le llama Inteligencia Artificial (abreviada como IA).

En este capítulo se presenta brevemente la historia de la IA, desde su surgimiento hasta la actualidad; enseguida, se habla de sus distintos enfoques; y finalmente se describen sus principales técnicas, las cuáles serán usadas en el siguiente capítulo para describir los sistemas computacionales existentes que hacen uso de la IA, en el dominio del Diseño Arquitectónico.

3.1. Historia

La idea de poder crear máquinas inteligentes ha estado presente desde la antigüedad. Por ejemplo, en el siglo VIII a. de C., Homero imaginó en su obra la *Iliada* a sirvientes mecánicos dotados de inteligencia, que fueron construídos por Hefesto, el Dios de la metalurgia. Siglos después, durante el siglo XVII, Descartes propuso la analogía de que la vida es similar al mecanismo de un reloj, pero tomando el alma como algo independiente a éste; es entonces, que surge un dualismo de posturas que definen una diferencia entre el cuerpo y la mente; el razonamiento de la mente humana y otras funciones del cuerpo humano, se pueden definir de acuerdo a cálculos mecánicos; sin embargo, fue hasta la primera mitad del siglo XX cuando aparecen las primeras computadoras, y con éstas la posibilidad real de poder construir máquinas pensantes.

3.1.1. Alan Turing, el padre de la IA

Alan Turing (considerado el padre de la computación y de la Inteligencia Artificial), después de contribuir durante la segunda guerra mundial a descifrar las máquinas Enigma pertenecientes a los nazis, publicó en 1950 (en la revista *Mind*) un artículo llamado *Computer machinery and intelligence* (110), en el cual cuestiona la posibilidad de que las máquinas puedan pensar como los humanos. Para intentar dar respuesta a esta pregunta ambigua, formuló lo que ahora se conoce como *la Prueba de Turing* o *Juego de la Imitación* de la inteligencia humana.

La prueba de Turing consiste en (ver fig. 3.1): 1) Colocar en tres cuartos diferentes a una persona, a una máquina, y a un interrogador humano; 2) Solicitar al interrogador que determine en cuál de los otros dos cuartos está la máquina y en cuál está el otro humano; 3) Para lograrlo, se permite que el interrogador les haga preguntas de manera indirecta, por ejemplo, usando un teclado y un monitor; 4) Se le pide al otro humano que proporcione respuestas que le ayuden al interrogador a identificar quién es la máquina; 5) Se programa la máquina de tal forma que su objetivo sea confundir al interrogador haciéndolo pensar que ésta es el humano; 6) Si el interrogador no puede distinguir a la máquina del otro humano, entonces se considera que la máquina ha pasado la prueba, y por lo tanto se le puede considerar inteligente.

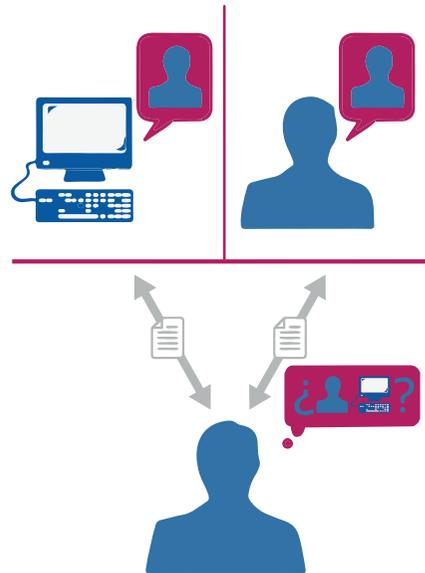


Figura 3.1: Representación gráfica de la prueba de Turing, donde el humano debe identificar si la conversación es con una máquina o con otro ser humano. Elaboración propia

3.1.2. Surgimiento de una nueva disciplina

En general, es difícil poder determinar con exactitud dónde y cuándo comienza un movimiento, y el surgimiento de la IA no es la excepción; no obstante, existe un cierto consenso en la comunidad de IA de que esta nueva disciplina nació en el verano de 1956, en la Universidad de Dartmouth, Estados Unidos. En este año, John McCarthy (Dartmouth College, Nuevo Hampshire), Marvin Minsky (Harvard University), Nathaniel Rochester (I.B.M. Corporation) y Claude E. Shannon (Bell Telephone Laboratories) convocaron a varios profesionales, considerados entre los más brillantes de la época, a que se reunieran durante dos meses, para trabajar en la conjetura de que las características de la inteligencia podían ser descritas de una manera tan precisa, que pudieran ser simuladas por una computadora. Esta propuesta planteaba el acercamiento a

los siguientes problemas, generando grandes expectativas:

- ¿Cómo hacer que las máquinas puedan entender y usar el lenguaje como lo hacen los humanos?
- ¿Cómo hacer que las máquinas puedan formar abstracciones y conceptos?
- ¿Cómo hacer que las máquinas puedan resolver ciertos tipos de problemas que hasta ahora sólo pueden ser resueltos por los humanos?
- ¿Cómo hacer que las máquinas puedan mejorarse a sí mismas?
- ¿Cómo hacer que las máquinas puedan ser creativas (dejando en claro que la aleatoriedad no puede ser juzgada como creatividad)?

Debido a la gran complejidad de los problemas planteados, éstos no se pudieron resolver en los dos meses que se habían propuesto como meta. Sin embargo, esta reunión de trabajo dio pie, a que de manera colectiva se comenzara a indagar sobre la problemática derivada del estudio y aplicación de la IA, estableciéndola como una disciplina de investigación (68). Desde entonces, podemos identificar en la historia de la IA, momentos de gran entusiasmo y de gran decepción, siendo los años posteriores a la reunión de Dartmouth una época de grandes expectativas.

3.1.3. Primeros sistemas inteligentes

Después del verano de 1955, se avanzó en programas de investigación por parte de distintas universidades como el MIT. Estos programas dieron como resultado avances en el razonamiento automatizado, pruebas de teoremas, juegos como el ajedrez, procesamiento de lenguaje natural y robots. También se plantearon algoritmos de búsquedas por ensayo y error, técnicas de aprendizaje y problemas de la representación del conocimiento. Para esto último, se desarrollaron lenguajes de programación especializados como PROLOG y LISP.

En esta época también se identifica el conexionismo o redes neuronales artificiales, como una manera de simular la biología del cerebro al nivel neuronal. El perceptrón de Frank Rosenblatt, que es un tipo de red neuronal artificial, fue uno de los avances más notables que resultó en lo que conocemos hoy en día como aprendizaje automatizado. Rosenblatt fue muy optimista en esa época y predijo que el perceptrón eventualmente podría ser capaz de aprender, tomar decisiones y traducir entre diferentes lenguajes. Este optimismo fue opacado en 1969, cuando Marvin Minsky and Seymour Papert publicaron el libro

de perceptrones, en el que se incluía una discusión acerca de sus limitaciones. Esto causó que disminuyera significativamente el interés en las redes neuronales artificiales durante la siguiente década.

Otros avances significativos incluyen el primer robot industrial UNIMATE, diseñado por el inventor George Devol e impulsado por Joseph Engelberger, el cual se desarrolló ejecutando tareas peligrosas para los humanos en la industria automotriz (88). ELIZA, desarrollado por Joseph Weizenbaum, fue un programa que permitió la comunicación escrita entre hombre y máquina por medio del lenguaje natural, en el cual una persona escribe una oración o pregunta y después ELIZA responde (116). SHKEY, considerado como el primer robot capaz de percibir su entorno, fue desarrollado en el Instituto de Investigación de Stanford en el año de 1966, el cual tuvo una importante influencia en la robótica y en los métodos de IA (104). MYCIN, un programa de IA para la toma de decisiones en el dominio de la medicina (44). Finalmente, en esta época también surgió el aprendizaje automático (conocido como Machine Learning), propuesto por Donald Michie, quien vio la utilidad de que las máquinas pudieran aprender de la experiencia (72).

3.1.4. El invierno de la IA

La primera gran decepción se dio a mediados de los años 70 y se le conoce como el invierno de la IA. Ésta fue causada por las altas expectativas generadas y porque dada la dificultad de los objetivos que se plantearon, éstos no se pudieron llevar a cabo en su totalidad.

Esta época se caracterizó por la reducción en el presupuesto de inversión para la disciplina. No se presentaron avances significativos, no sólo ligados a la falta de inversión, sino también a problemas relacionados al poder computacional. La misma lógica fue un obstáculo, así como la paradoja de Moravec, la cual indica que el razonamiento complejo requiere poco poder computacional y que las habilidades sensoriomotoras requieren un gran poder computacional (113).

3.1.5. Resurgimiento de la IA en los 80

En 1982, Japón invirtió en un programa de IA que tampoco cumplió con las expectativas, pero que dio surgimiento a lo que se conoce como *Sistemas Expertos* y a sus aplicaciones. La teoría de las Redes Neuronales Artificiales volvió a tener popularidad, gracias a que algunos investigadores propusieron algoritmos que superaron las limitaciones anteriores. De esta manera la técnica pudo florecer (55).

A finales de los 80 se aplicaron algunos de los principios del comportamiento animal a la IA, dando paso a los conceptos de *Vida Artificial* y de agentes artificiales que interactúan con su entorno.

3.1.6. IA en la década de los 90

A principios de los 90, podemos identificar a DART (Dynamic Analysis and Replanning Tool). Un sistema de planificación, que logró reducir los costos relacionados con la toma de decisiones, optimizando la organización para el transporte de recursos. Los agentes inteligentes de DART, fueron útiles para el proceso de logística de la milicia de los Estados Unidos de Norte América (86).

A mediados de los 90 y tras varios años de trabajo, IBM culminó el desarrollo de un sistema computacional capaz de jugar ajedrez, llamado Deep Blue, el cual derrotó al campeón mundial Garry Kasparov (20).

En 1997, se lanzó el ahora extinto sistema Babel Fish, un traductor de lenguaje en línea, predecesor de Google Translate (9).

A finales de los 90, el MIT desarrolló un robot humanoide llamado Kismet, capaz de socializar a través de la expresión de emociones y de mostrar empatía con los seres humanos (73).

También, a finales de los 90, Sony lanzó a AIBO (Artificial Intelligence roBOt), un compañero con las características de un pequeño cachorro. Es entonces, cuando se concibe la idea de que el comportamiento de un robot debe ser basto, ya que su objetivo es el de entretener (103).

3.1.7. IA en la década del 2000

En esta etapa, como extraídos de la ciencia ficción, surgen varios avances significativos en el campo de la IA. Por ejemplo, Roomba, un robot capaz de hacer la limpieza de los pisos y cuyas dimensiones son las adecuadas para realizar su trabajo;

su funcionamiento conociste en el escaneo de la habitación que se desea limpiar, se configura de acuerdo a las dimensiones de ésta y el resto lo hace el robot, en una especie de danza inmótica (27).

Siri, desarrollado por SRI International Artificial Intelligence Center, es un sistema que permite comunicarte con un dispositivo a través de la voz, sin la necesidad de usar las manos; se considera como un sistema asistente, auxiliar para hacer llamadas telefónicas o enviar mensajes de texto, permitiendo al usuario realizar otro tipo de actividades, como conducir (5).

Watson de IBM, presentado como un sistema cognitivo pionero, tiene la habilidad de procesar el lenguaje natural; genera y evalúa hipótesis, y su proceso de iteración e interacción lo posicionan como un sistema de aprendizaje dinámico (48).

Eugene, un sistema desarrollado por Vladimir Veselov, Eugene Demchenko y Sergey Ulasen, supera la prueba de Turing, al lograr que un grupo de jueces considerara que conversaron con un ser humano, aunque su éxito es muy controversial (93).

Google Brain, definido como una IA de aprendizaje profundo, fue desarrollado a principios de los 2010s por Jeff Dean, Greg Corrado y Andrew Ng; primero fue conocido como el proyecto Google X y se volvió popular por ser capaz de imitar aspectos del cerebro humano, logrando reconocer un gato en millones de imágenes. La investigación y desarrollo de Google Brain se extrapola a otras investigaciones como: el mejoramiento de imágenes de baja resolución, Google Translate y por supuesto, la Robótica.

Como conclusión, en esta etapa podemos identificar una introducción de la IA al mercado, ofreciéndola en distintos servicios y productos.

3.1.8. IA en la actualidad

Algunos de los avances más destacados en la actualidad, tanto en el mercado como en la investigación y desarrollo, incluyen los siguientes ejemplos. Alexa, es un asistente inteligente virtual, o simplemente un asistente de voz. Este agente virtual, es sólo uno de los que se ha vuelto parte de la vida cotidiana, su uso deriva también en el estudio de la interacción social humano-máquina (2).

Tay bot, desarrollado por Microsoft Corporation para su plataforma social Twitter, fue lanzado en el 2016. El bot fue entrenado para aprender de la experiencia obtenida al interactuar con las personas y cuenta con la capacidad de responder a imágenes publicadas en un tweet. La voz de este bot corresponde al de una joven mujer Americana de 19 años. Al publicar material racista, sexista y antisemita en los tweets, Tay fue desconectado (114).

AlphaGo, desarrollado por DeepMind Technologies, es un sistema que juega Go. Éste consta de un tablero de estrategia para dos jugadores, que tiene un grado de complejidad considerable. Al igual que Deep Blue, éste logró vencer a Lee Sedol, considerado como el mejor jugador de Go del mundo (21).

TensorFlow, es definida como una plataforma para el aprendizaje automático de código abierto. Consiste en un conjunto de herramientas integrales y flexibles, que permite a investigadores impulsar el estado del arte y a los desarrolladores implementar aplicaciones de manera fácil (109).

Caffe2, resultado del centro de investigación de Facebook, es una plataforma para desarrollo e investigación que permite la experimentación con el método de aprendizaje profundo. Ésta plataforma cuenta con distintas herramientas, para la construcción de aplicaciones de aprendizaje automático en dispositivos móviles(31).

El aprendizaje automático mencionado en los últimos ejemplos, también ha generado cambios en los últimos años en el dominio de la medicina, por ejemplo en el análisis de imágenes médicas (15).

En el reconocimiento de algunos de estos avances, es también necesario el reconocimiento de las limitaciones de la IA. Una de éstas consiste en que algunos de los métodos usados por la IA, trabajan como una caja negra; es decir, que no nos permite conocer los procesos de sus decisiones. Otra limitación de estos métodos, consiste en que trabajan estrictamente acotados por la determinación de una entrada (input), una salida (output) y su entrenamiento (94). También es importante destacar que actualmente la IA está lejos de ser considerada como IA general, siendo más bien considerada sólo como una IA de tarea específica.

La Figura 3.2 resume en orden cronológico los avances de la IA.

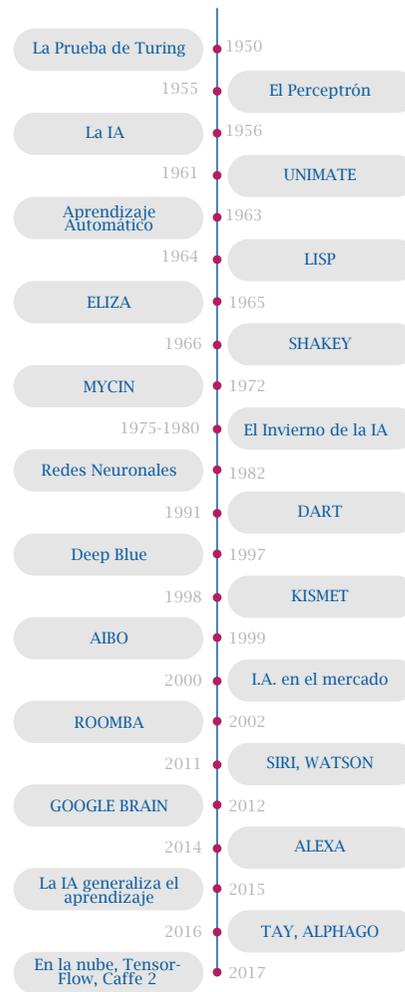


Figura 3.2: Se muestra la representación cronológica de los avances más importantes de la IA, desde sus inicios hasta la actualidad

3.2. Enfoques de la IA

A lo largo de la historia de la IA, han surgido varios enfoques. Entre los más destacados se encuentran: el enfoque funcionalista vs el esencialista, el enfoque de la IA fuerte vs la IA débil, el enfoque de la IA de tarea específica vs el de la IA general, el enfoque conexionista vs el simbólico, y por supuesto el enfoque de la Super IA.

En el enfoque **funcionalista**, se identifica un proceso mental como causa y efecto; es decir, se considera que un estado mental deriva de un estímulo externo (47). Bajo esta perspectiva, algo es inteligente por el simple hecho de que de manera funcional se asemeja a la inteligencia de un ser humano. En este caso, nos interesa sólo el resultado y no el proceso. En el enfoque **esencialista** se considera que la IA es una copia imperfecta del proceso cognitivo del ser humano (106), y se objeta de manera concreta, al decir que las máquinas sólo responden a las tareas para las que fueron programadas, sin realmente entender la tarea. La IA de una manera práctica es totalmente funcionalista, ya que no busca que una máquina entienda el proceder de sus acciones, sino que lleve a cabo su tarea de manera eficiente.

En el enfoque de la **IA fuerte**, se considera que las computadoras pueden poseer una mente (98); es decir, que pueden tener estados cognitivos o procesos mentales programados, implementando intencionalidad a sus acciones y siendo capaces de resolver problemas complejos (100). En contraste, en el enfoque de la **IA débil**, se declara que las computadoras son solamente una herramienta para el estudio de la mente, incluyendo la creatividad (97), simulando procesos mentales sin llegar a ser imitados (100).

El enfoque de la **IA de tarea específica**, que se vincula con el enfoque de la IA débil, se refiere a aquella que se especializa en una sola tarea. Por el contrario, el enfoque de la **IA general** busca alcanzar que ésta sea equiparable al nivel de inteligencia de un ser humano, siendo capaz de desarrollar habilidades como el razonamiento y la planeación.

El enfoque de la **IA conexionista**, trata de explicar lo que ocurre en la mente y en el comportamiento en términos de conexiones entre unidades, llamadas neuronas, que forman redes. De esta manera, se busca emular los procesos del cerebro. Un método popular de este enfoque son las Redes Neuronales (79). En oposición, el enfoque de la **IA simbólica** supone a la inteligencia como la manipulación y transformación de símbolos por medio de entradas y salidas relacionadas al entorno, memoria de aprendizaje, procesador de símbolos y la coordinación de este proceso (69).

Finalmente, el enfoque de la **Super IA** se refiere a aquella que pudiera superar el nivel de inteligencia de los humanos, tema que conocemos muy bien gracias a la literatura y al cine de ciencia ficción (82).

3.3. Principales técnicas de la IA

En el dominio de la IA, se han desarrollado diferentes caminos para programar algoritmos, que pueden dotar a la computadora con un cierto grado de inteligencia. A continuación se describen los principales.

3.3.1. Cómputo Evolutivo

Basado en el principio de la evolución, en donde los seres vivos son producto de un proceso selectivo, que puede ser entendido como un encadenamiento de accidentes en un contexto determinado, nace el cómputo evolutivo. Con la premisa de que la evolución es creativa pero sin un propósito claro, el potencial de la abstracción de la evolución es un proceso computacional que implica la concepción de resultados extraordinarios, vinculados a problemas complejos y difíciles de alcanzar con algoritmos tradicionales.

En el cómputo evolutivo se abstrae la idea de una población inicial, que generalmente se crea de manera aleatoria, y en donde cada uno de sus individuos representa una posible solución a un problema dado. La evolución se modela entonces como un proceso iterativo que opera sobre la población de posibles soluciones, a través de variaciones aleatorias, procedida por un proceso de selección (ver fig. 3.3).

Posteriormente, se selecciona un conjunto de individuos de esta población, utilizando el conocimiento disponible en el dominio del problema. La idea es que se seleccionen aquellos individuos que representen las mejores soluciones (algo similar al concepto de supervivencia del más apto). Esto se hace a través de una función objetivo o de aptitud (*fitness*). Los individuos seleccionados se combinan entre sí y se les realizan pequeñas modificaciones aleatorias, dando lugar a una nueva población que es descendiente de la original, entonces, se repite de nuevo el proceso con la población de supervivientes (32), hasta que se encuentra una solución satisfactoria.

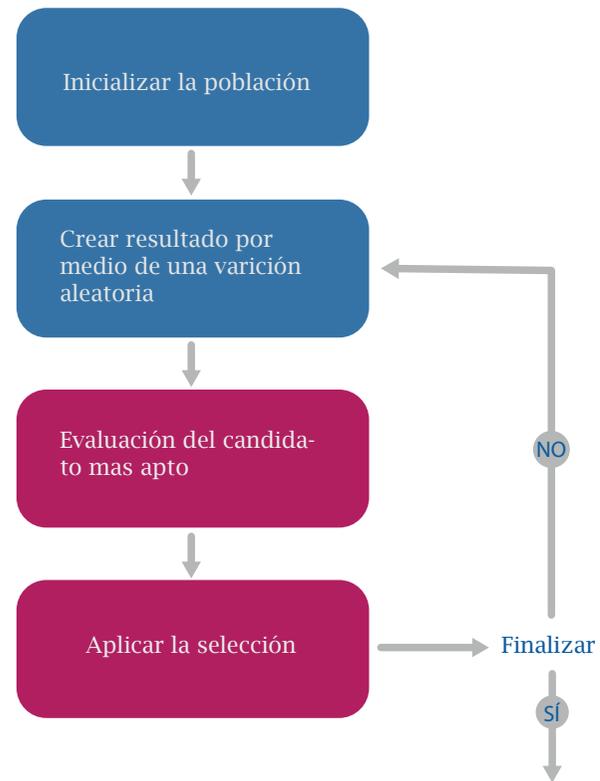


Figura 3.3: Representación gráfica de un algoritmo de cómputo evolutivo (33).

3.3.1.1. Algoritmos Genéticos

Los Algoritmos Genéticos fueron propuestos en la década de los 60 por John Holland (46), los cuales derivan del cómputo evolutivo y se definen como métodos de adaptación. Son una abstracción de la reproducción de los seres vivos y la supervivencia del más apto. Es decir, son algoritmos inspirados en los procesos de la selección natural y de la genética, imitando la teoría de Darwin sobre la evolución. Son usados en problemas de búsqueda y optimización por medio de parámetros, El punto de partida es una población inicial generada normalmente de manera aleatoria, en donde cada individuo representa una posible solución a un problema dado, de ésta se seleccionan los mejores individuos para ser reproducidos de acuerdo a sus características, obteniendo una nueva generación (ver fig.3.4) (10). Los individuos siguen un proceso de evolución, adaptándose para la creación de nuevas generaciones, las generaciones buscan adaptarse al contexto; es decir, al problema para así determinar la solución (40).

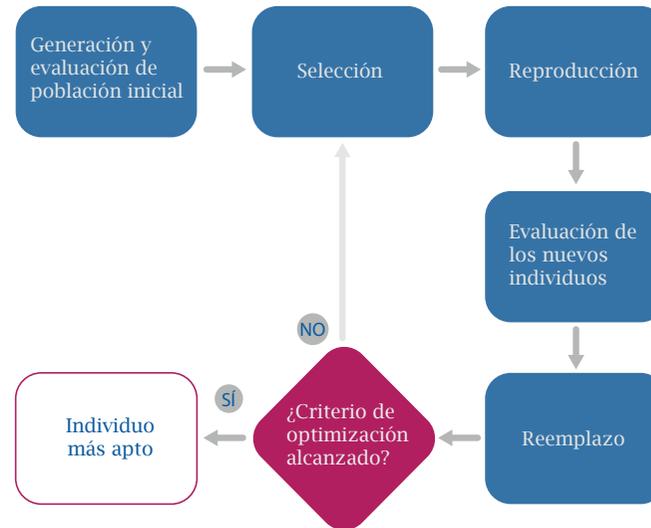


Figura 3.4: Representación gráfica de un Algoritmo Genético (40).

3.3.1.2. Algoritmos Evolutivos

Éstos se definen como técnicas de búsqueda y optimización también inspirados en el proceso de evolución del mundo biológico. En Alemania surge este método que se basa en los mismos principios desarrollado por Rechemberg y Schwefel, llamado Estrategias Evolutivas (Algoritmos Evolutivos). Con el uso de dos individuos y un operador denominado de mutación, éstos con el rol de ser un único elemento de búsqueda para determinar la nueva población (ver fig.3.5)(46). Estos algoritmos son clasificados como estocásticos, al igual que los Algoritmos Genéticos, concebidos para emular el proceso de evolución en un límite de tiempo específico, usando conceptos abstraídos de la herencia genética y la teoría de la supervivencia, imitando el proceso natural (61).



Figura 3.5: Representación gráfica de un Algoritmo Evolutivo (60).

3.3.2. Recocido Simulado

Son algoritmos basados en la abstracción del proceso de enfriamiento lento de un sólido, hasta llegar al punto de congelación, y su punto mínimo de energía. Se define como un método probabilístico, el cual acepta muchas soluciones consideradas como malas con el objetivo de hacer una exploración más profunda en el espacio de soluciones. El Recocido Simulado (Simulated annealing) se conforma por seis elementos básicos que son: un conjunto finito, un valor real de función de costo, un conjunto de vecinos, una colección de coeficientes positivos, una función sin incremento y un estado inicial (ver fig.3.6). Con los elementos antes mencionados, el algoritmo se implementa como una cadena de Markov no homogénea en un tiempo discreto. Este método fue usado de manera constante en la década de los 80 para resolver problemas de optimización, de manera muy particular en el procesamiento de imágenes (12).

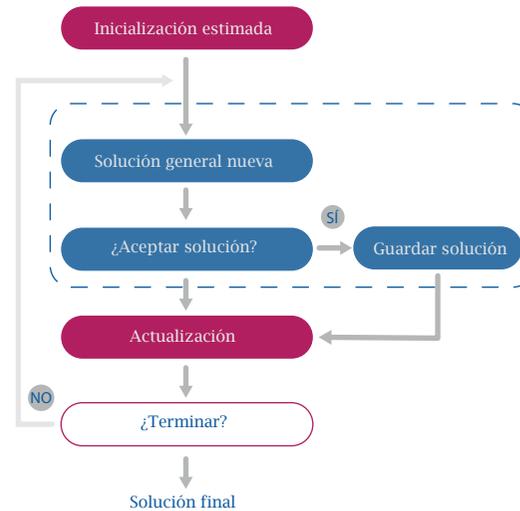


Figura 3.6: Representación gráfica del Recocido Simulado (V. A. A. Camarena).

3.3.3. Agentes Inteligentes

Los agentes inteligentes son entidades de un sistema computacional (programa) que cuentan con conocimiento propio y basándose en éste, ejecutan un proceso que busca la satisfacción de un usuario, de otro sistema o satisfacción intrínseca. Los agentes inteligentes se categorizan como individuos o partes de un sistema. Se considera que tienen el control sobre su comportamiento, el cual se da como respuesta a en un entorno determinado (ver fig.3.7). De manera constante estos agentes efectúan procesos para dirigir sus acciones de manera determinada. También pueden interactuar con otros agentes y así desarrollar de manera óptima sus tareas. La IA determina que las características de un agente inteligente son autonomía, sociabilidad, capacidad de reacción, iniciativa, benevolencia y racionalidad (49).

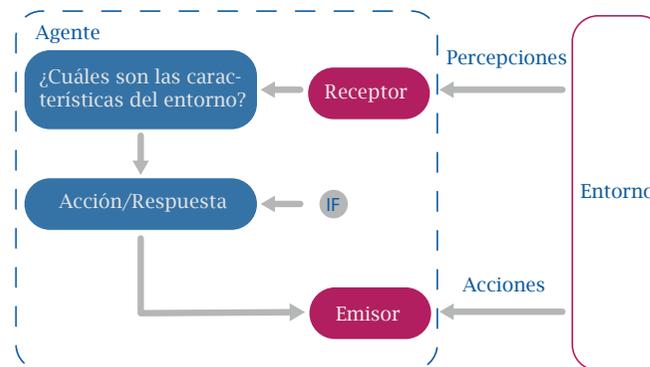


Figura 3.7: Representación gráfica de un Agente Inteligente (1).

3.3.4. Gramáticas

La gramática aplicada a la IA, es un grupo de reglas para la obtención de un resultado. Existen por ejemplo, las gramáticas de formas; en éstas la definición de una forma corresponde a una colección de segmentos y puntos clasificados (intersecciones o puntos aleatorios); es decir, un acomodo limitado de líneas rectas en un plano cartesiano y un sistema de coordenadas determinadas por ejes reales y asociadas a la distancia Euclidiana (42). En las gramáticas de formas, las reglas son aplicadas en la forma de origen, donde cada regla tiene la estructura A-B, A y B siendo formas. Cada regla, tiene la función de identificar la forma A en la generación que el sistema esta desarrollando, con la posibilidad de aplicar cambios de giro, simetría y escala sobre la forma A, dando pauta a la forma B (ver fig.3.8). Este método ha sido aplicado en proyectos relacionados con los dominios de la arquitectura y el diseño industrial. (92).

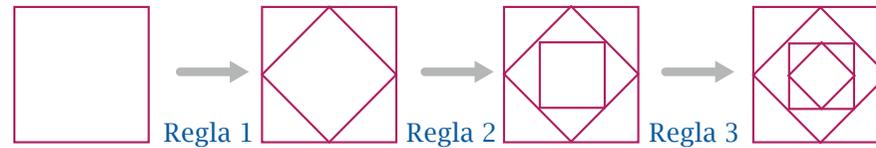


Figura 3.8: Representación gráfica de las Gramáticas de Forma (105).

3.3.5. Razonamiento Basado en Casos

Este método de IA es especial por las particularidades que lo caracterizan en comparación de otros. Se puede definir como un modelo para encontrar la solución de un problema, el cual de manera cíclica hace uso de la combinación de la resolución de problemas y el aprendizaje, (ver fig.3.9) (85) . Los casos son un conocimiento específico vinculado a experiencias anteriores de un problema en particular. El nuevo problema se resuelve usando esta experiencia, experiencia. Entonces el Razonamiento Basado en casos es: IA aplicada en la búsqueda de una solución a un problema utilizando la experiencia acumulada. El método propone modelar el razonamiento vinculado al entendimiento y aprendizaje (59).

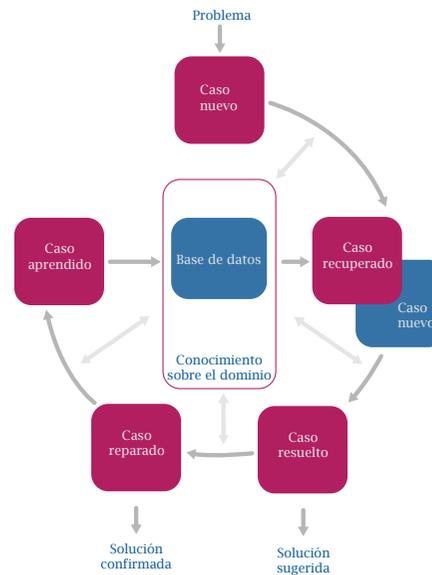


Figura 3.9: Representación gráfica del ciclo del Razonamiento Basado en Casos (26).

3.3.6. Lógicas Difusas

Difuso hace referencia a elementos indeterminados. Esta es una propuesta basada en la teoría de la probabilidad de (121). Este método se define como una extensión de las lógicas clásicas, las cuales se componen de declaraciones a las que sólo se les puede asignar un valor: verdadero o falso. Son una parte importante del razonamiento natural. Las lógicas difusas son acercamientos matemáticos, con el fin de dar solución a problemas específicos, con la obtención de respuestas precisas de datos vagos (74). Se considera que los sistemas apoyados en este método, emplean el uso de algoritmos sencillos que otorgan la facilidad de su uso al ser adaptables a casos específicos (ver fig.3.10) (74).

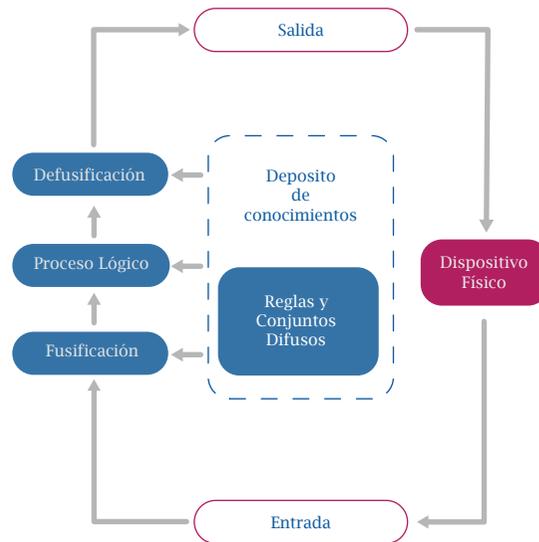


Figura 3.10: Representación gráfica de la Lógica Difusa (81).

3.3.7. Metaheurística, Búsqueda y Optimización

Históricamente, el ser humano ha explorado el mundo de las soluciones por medio de la experimentación; es decir, de la prueba y el error. La heurística es este acercamiento para la solución de problemas que podemos atribuir a la creatividad. La metaheurística entonces es el proceso científico para la búsqueda y a la propuesta de soluciones vinculado a la búsqueda y optimización (118). Un algoritmo con esta técnica, puede usar un procedimiento aleatorio en la búsqueda entre las alternativas a una solución (ver fig.3.11) (118).



Figura 3.11: Representación gráfica de la búsqueda y optimización con el uso de la Metaheurística (84).

3.3.8. Aprendizaje Automático

Inspirado en la biología y en las neurociencias, este método busca un cambio o adecuación en la toma de decisiones que hace un sistema. Estas decisiones tienen que volverse más precisas, de acuerdo a las decisiones tomadas, categorizadas como correctas (63). Los sistemas desarrollados con este método, cuentan con la habilidad de llevar a cabo una acción en distintas formas, de ser esta acción posible y permitida por el contexto (ver fig.3.13) (76). El Aprendizaje Automático, tiene como objetivo el mejoramiento automático de un sistema por medio de la experiencia. Algunas de las aplicaciones vinculadas a esta técnica son: el desarrollo de sistemas de control automático, reconocimiento de voz, visión computacional etc. Se cree que es sencillo entrenar a un sistema proporcionándole ejemplos de entradas y salidas (50).

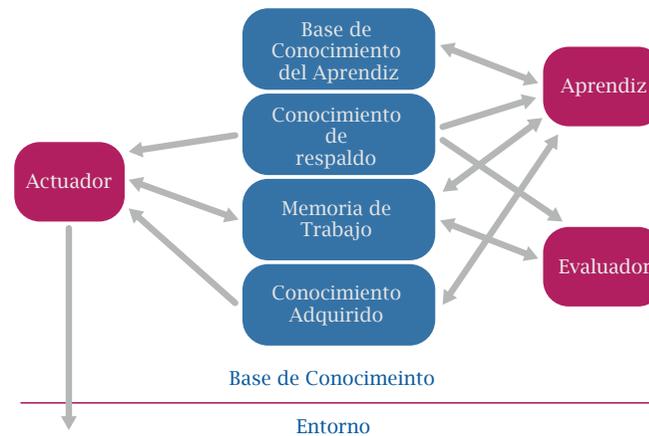


Figura 3.12: Representación gráfica del Aprendizaje Automático (76).

3.3.9. Algoritmos de Reconocimiento

Los Algoritmos de Reconocimiento se pueden implementar usando técnicas de aprendizaje automático, su objetivo es recolectar y clasificar información de manera automática, que puede ser de distintos tipos como: imágenes, textos y sonidos (3). El Diseño de un algoritmo de reconocimiento consiste en:

- 1. Alimentación y procesamiento de datos
- 2. Representación de la información
- 3. Toma de decisiones

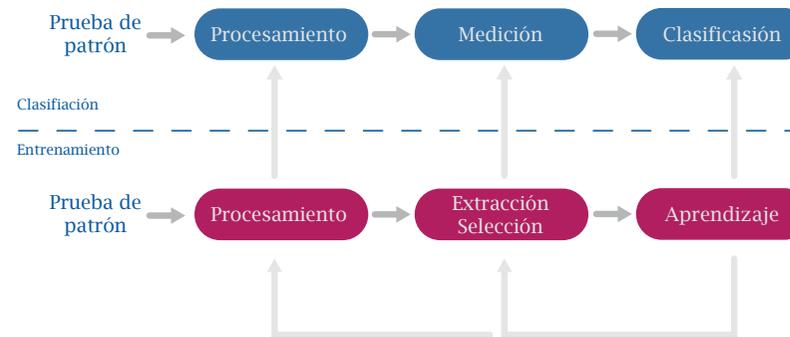


Figura 3.13: Representación gráfica de los Algoritmos de Reconocimiento (30).

3.3.10. Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales están inspiradas en el sistema nervioso biológico, aunque están lejos de ser una aproximación, ya que aún no hemos llegado a comprender el sistema neuronal natural y mucho menos su forma de trabajo (119). Las Redes Neuronales como una técnica de la IA, se pueden definir como un modelo matemático, conformado por una variedad numerosa de unidades que ejecutan un proceso (66). Entonces, podemos decir, que una Red Neuronal es una abstracción de la estructura del modelo biológico que deriva en la interconexión de unidades, donde las entradas se interconectan con distintas unidades de procesamiento de la información y así producir salidas (ver fig.3.14) (119).

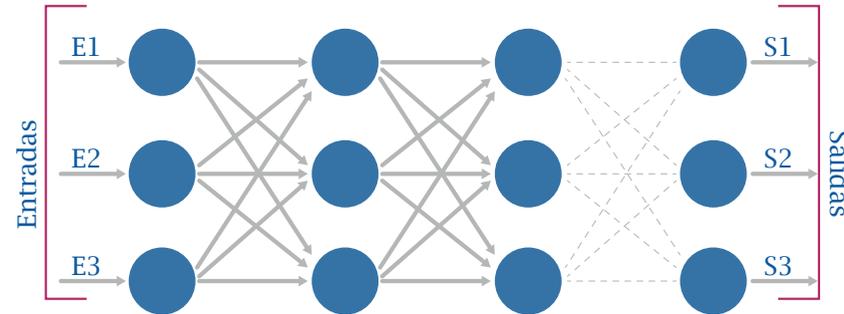


Figura 3.14: Representación gráfica de una Red Neuronal (34).

3.3.11. Redes Adversas

Un tipo particular de redes neuronales artificiales fueron presentadas por Ian J. Goodfellow en el año 2014, como un marco para estimar modelos generativos en un proceso adverso. Las redes adversas están compuestas por dos modelos entrenados de manera conjunta: el generador y el discriminador (ver fig.3.15). Por un lado, el generador que como su nombre lo indica, genera datos y tiene el objetivo de confundir al discriminador. Por otro lado, el modelo discriminador otorga un valor de falso o verdadero a los datos propuestos por el generador; su tarea es diferenciar los datos reales de los producidos por el generador (16).

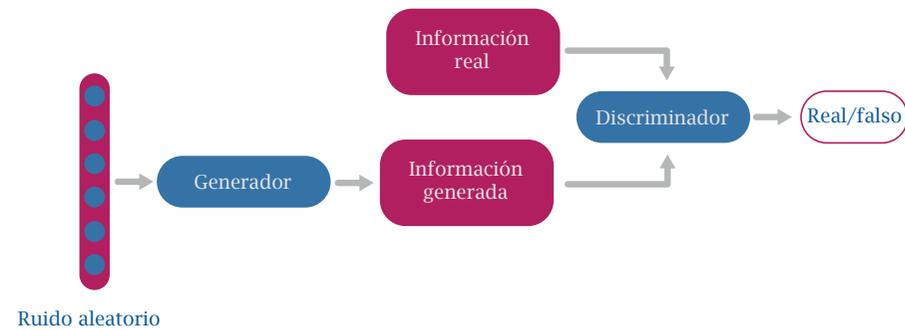


Figura 3.15: Representación gráfica de las Redes Adversas (16).

Capítulo 4

Caso de estudio: Diseño Arquitectónico

Poco más de una década después del surgimiento de la IA se desarrolló la idea de integrarla en la creación de sistemas computacionales en el dominio del Diseño Arquitectónico (77). Desde entonces se han hecho avances importantes, por ejemplo, para el aniversario número doscientos de Ada Lovelace, conocida como la primera programadora, nace un proyecto por la firma de la arquitecta Zaha Hadid bajo el nombre *Mathematics: The Winton Gallery* (Ver fig. 4.1) para el cual se hizo uso de la IA en el proceso de Diseño (6). Otro ejemplo corresponde al Diseño Generativo que se presenta de manera constante, como una de las alternativas de aplicación de la IA en la Arquitectura (Ver figs. 4.2, 4.3).

En este capítulo se presenta un abreviado descripción de los sistemas computacionales más relevantes que han utilizado técnicas de IA en el dominio del Diseño Arquitectónico. Adicionalmente, se analizan desde la perspectiva del diagrama del proceso de Diseño propuesto en este trabajo de investigación (Ver fig. 2.5).



Figura 4.1: Galería Winton por Zaha Hadid, diseño con el uso de parámetros, fotografía de Luke Hayes.

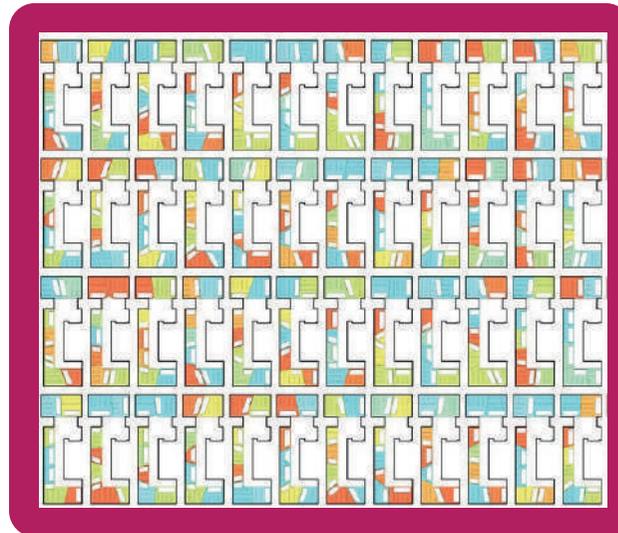


Figura 4.2: Diseño Generativo para la Arquitectura de Autodesk.

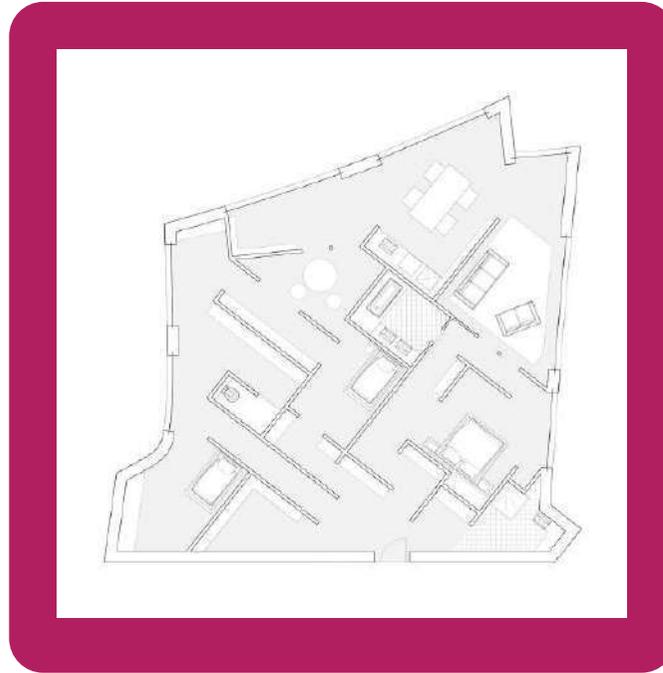


Figura 4.3: Planta arquitectónica proyecto con IA de Stanislas Chaillou.

4.1. Metodología

La búsqueda de sistemas computacionales que usan la IA en el Diseño, se llevó a cabo en revistas científicas (Ver tablas 4.1 ??), libros (Ver tablas 4.3), congresos (Ver tablas 4.4 4.5) y tesis (Ver tabla 4.6). Esto dio como resultado un total de 272 textos; 154 en revistas científicas, 87 en congresos, 27 libros y 3 tesis 4.7).

En los textos encontrados se pueden apreciar diferentes enfoques hacia: el Diseño de videojuegos, el Diseño de automóviles, el Diseño de interiores, el Diseño Gráfico y el Diseño Arquitectónico. Acotando a este último se pudo identificar un número de 38 acercamientos a sistemas computacionales inteligentes.

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO ARQUITECTÓNICO

| Revistas | Fecha de búsqueda | Artículos encontrados |
|---|-------------------|-----------------------|
| 1 Applied Intelligence Review | 2019/02/07 | 4 |
| 2 Applied Artificial Intelligence | 2019/02/04 | 1 |
| International Journal of AI and tools | 2019/02/07 | 1 |
| 3 AIEDAM | 2019/02/04 | 16 |
| 4 Computer-Aided Design (CAD) | 2019/02/04 | 34 |
| 5 Design Issues | 2019/02/07 | 2 |
| 6 Design Studies | 2019/02/07 | 3 |
| 7 International Journal of Design | 2019/02/07 | 1 |
| 8 International Journal of Architectural Computing | 2019/02/07 | 2 |
| 9 Procedia Engineering | 2019/02/04 | 1 |
| 10 Artificial Intelligence in Architecture | 2019/02/11 | 1 |
| 11 International Journal of Human-Computer Interaction | 2019/02/11 | 1 |
| 12 Journal of Computing and Information Science in Engineering | 2019/02/04 | 1 |
| 13 International Journal of Software Engineering and its Applications | 2019/02/04 | 2 |
| 14 Automation in Construction | 2019/02/04 | 2 |
| 15 Energy and Buildings Information | 2019/02/04 | 1 |
| 16 Materials Research | 2019/02/04 | 1 |
| 17 Computer Applications in Engineering Education | 2019/02/04 | 1 |
| 18 Design Science | 2019/02/04 | 2 |
| 19 International Journal of Design | 2019/02/04 | 2 |
| 20 Computer Animation & Virtual Worlds | 2019/02/04 | 2 |
| 21 Artificial Intelligence | 2019/02/04 | 1 |
| 22 Journal of Artificial Intelligence Review | 2019/02/06 | 8 |
| 23 Online Journal of Art & Design | 2019/02/07 | 1 |
| 24 DYNA - Ingeniería e Industria | 2019/02/07 | 1 |
| 25 Computer Graphics Forum | 2019/02/07 | 1 |
| 26 Computer-Aided Design & Applications | 2019/02/07 | 1 |
| 27 IEEE Computer Graphics and Applications | 2019/02/11 | 1 |
| 28 Mechanism and Machine Theory | 2019/02/11 | 1 |
| 29 Journal of Mechanical Design | 2019/02/11 | 1 |

Tabla 4.1: Lista de las revistas científicas en donde se encontraron artículos que describen sistema computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

| Revistas | Fecha de búsqueda | Artículos encontrados |
|---|-------------------|-----------------------|
| 30 Journal of Engineering Design | 2019/02/12 | 5 |
| 31 Computers in Industry | 2019/02/12 | 2 |
| 32 Computers and Structures | 2019/02/12 | 1 |
| 33 Mechatronics | 2019/02/12 | 1 |
| 34 Research in Engineering Design | 2019/02/12 | 1 |
| 35 International Journal of Smart Engineering System Design | 2019/02/12 | 1 |
| 36 Frontiers in Psychology | 2019/02/12 | 1 |
| 37 Generative CAD Systems | 2019/02/12 | 1 |
| 38 ACM Transactions on Graphics | 2019/02/12 | 2 |
| 39 Shape Modelling International (SMI) | 2019/02/12 | 1 |
| 40 Information Systems | 2019/02/12 | 1 |
| 41 International Journal of Technology and Design Education | 2019/02/12 | 1 |
| 42 Color Research & Application | 2019/02/12 | 1 |
| 43 Artificial Intelligence in Engineering | 2019/02/12 | 1 |
| 44 IEEE MultiMedia | 2019/02/12 | 1 |
| 45 PLoS ONE | 2019/02/12 | 1 |
| 46 Natural Computing | 2019/02/12 | 1 |
| 47 IEEE Transactions on Evolutionary Computation | 2019/02/12 | 1 |
| 48 Indian Journal off Science and Technology | 2019/02/14 | 1 |
| 49 Engineering Optimization | 2019/02/14 | 1 |
| 50 Central European Journal of Operations Research | 2019/02/14 | 1 |
| 51 Frontiers of Architectural Research | 2019/02/14 | 1 |
| 52 Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing | 2019/02/14 | 1 |
| 53 Engineering Design and Automation | 2019/02/14 | 1 |
| 54 Structural and Multidisciplinary Optimization Volume 20 Issue 3 | 2019/02/14 | 1 |
| 55 A computer support tool for the early stages of architectural design. IC | 2019/02/14 | 1 |
| 56 Principles and methods, Data & Knowledge Engineering | 2019/02/14 | 1 |
| 57 Artificial Intelligence Review | 2019/02/15 | 1 |
| 58 Computers in Industry | 2019/02/15 | 1 |
| 59 Artificial intelligence in design '96 | 2019/02/15 | 1 |

Tabla 4.2: Lista de las revistas científicas en donde se encontraron artículos que describen sistema computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO ARQUITECTÓNICO

| Libros | |
|--------|--|
| 1 | Automatic Design of Decision-Tree Induction Algorithms |
| 2 | Cooperative Systems Design : Scenario-based Design of Collaborative Systems |
| 3 | Cooperative Systems Design : A Challenge of the Mobility Age |
| 4 | Design Computing and Cognition '10 |
| 5 | Algorithmic Architecture |
| 6 | The Practice of Creativity: A Manual for Dynamic Group Problem Solving |
| 7 | Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems |
| 8 | Artificial Intelligence in Design '98 |
| 9 | Artificial Intelligence in Design '00 |
| 10 | Knowledge Intensive Design Technology |
| 11 | Design Computing and Cognition '10 |
| 12 | Creative evolutionary systems |
| 13 | Smart Product Engineering |
| 14 | ICoRD'15 - Research into Design Across Boundaries Volume 1 |
| 15 | Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in the Arts |
| 16 | Smart Product Engineering |
| 17 | New Frontiers in Applied Artificial Intelligence |
| 18 | Evolutionary Design by Computers |
| 19 | Intelligent User Interfaces |
| 20 | Advances in Formal Design Methods for CAD |
| 21 | User Interfaces (IntechOpen) |
| 22 | Model-Driven Development of Advanced User Interfaces |
| 23 | Automation Based Creative Design: Research and Perspectives |
| 24 | The Logic of Architecture |
| 25 | Artificial Intelligence in Design '00 |
| 26 | Design Computing and Cognition '14 |
| 27 | Artificial Intelligence in Design '91 |

Tabla 4.3: Lista de los libros en donde se encontró información que describe sistemas computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

| Congresos | Fecha de búsqueda | Artículos encontrados |
|---|-------------------|-----------------------|
| 1 (DCC) Design Computing and Cognition | 2019/02/05 | 24 |
| 2 (ICDC) International conference on design creativity | 2019/02/06 | 11 |
| 3 (ICAIEDAM) International Conference on Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing | 2019/02/07 | 9 |
| 4 International conference on Human-computer interaction | 2019/02/05 | 1 |
| 5 International conference on advances in computer-human interactions | 2019/02/05 | 5 |
| 6 SPIE - The International Society for Optical Engineering | 2019/02/04 | 1 |
| 7 International Conference on Computer and Electrical Engineering | 2019/02/05 | 1 |
| 8 Pervasive Computing and Communications | 2019/02/05 | 1 |
| 9 COMPEURO System Design: Concepts, Methods and Tools | 2019/02/05 | 1 |
| 10 International Conference on Mobile Software Engineering and Systems | 2019/02/06 | 1 |
| 11 International Visual Informatics Conference: Advances in Visual Informatics | 2019/02/06 | 1 |
| 12 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) | 2019/02/06 | 1 |
| 13 Latin America Congress on Computational Intelligence | 2019/02/05 | 1 |
| 14 International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) | 2019/02/05 | 1 |
| 15 ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST) | 2019/02/12 | 2 |
| 16 30th eCAADe Conference | 2019/02/14 | 1 |
| 17 3rd CIB International Conference on Smart and Sustainable Built Environments | 2019/02/14 | 1 |
| 18 8th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia | 2019/02/14 | 1 |
| 19 SPIE - The International Society for Optical Engineering | 2019/02/04 | 1 |
| 20 International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2009 | 2019/02/14 | 1 |
| 21 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE) | 2019/02/14 | 1 |
| 22 EG-ICE 2017 | 2019/02/12 | 1 |
| 23 CAAD Futures'95 | 2019/02/12 | 1 |
| 24 UMBAU 19 | 2019/02/12 | 1 |
| 25 IEEE World Congress on Computational Intelligence | 2019/02/11 | 1 |

Tabla 4.4: Lista de los congresos en donde se encontraron artículos que describen sistemas computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO ARQUITECTÓNICO

| Congresos | Fecha de búsqueda | Artículos encontrados |
|---|-------------------|-----------------------|
| 23 International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI) | 2019/02/11 | 3 |
| 24 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) | 2019/02/11 | 1 |
| 25 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference | 2019/02/11 | 1 |
| 26 Industrial Engineering Research Conference | 2019/02/11 | 1 |
| 27 ICED - International Conference on Engineering Design | 2019/02/04 | 1 |
| 28 SPIE - The International Society for Optical Engineering | 2019/02/11 | 1 |
| 29 DESIGN - International Design Conference | 2019/02/11 | 2 |
| 30 Evolutionary and Biologically Inspired Music, Sound, Art and Design (Evo-MUSART) | 2019/02/12 | 1 |
| 31 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference | 2019/02/12 | 1 |
| 32 Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe Conference (eCAADe) | 2019/02/12 | 1 |
| 33 Information Processing in Civil and Structural Engineering Design | 2019/02/12 | 1 |
| 34 CIRP/Global Conference on Sustainable Manufacturing | 2019/02/12 | 1 |
| 35 SI3D - Symposium on Interactive 3D Graphics | 2019/02/12 | 1 |
| 36 ASSETS - ACM SIGACCESS Conference on Computers Accessibility | 2019/02/12 | 1 |

Tabla 4.5: Lista de los congresos en donde se encontraron artículos que describen sistemas computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

| Congresos | Fecha de búsqueda |
|---|-------------------|
| 1 Generative Processes In Architectural Design | 2019/02/07 |
| 2 Architecture and the Built Environment Evolutionary Design Assistants for Architecture | 2019/02/14 |
| 3 Computational Intelligence Technology for the Generation of Building Layouts Combined With Multi-Agent Furniture Placement. | 2019/02/14 |

Tabla 4.6: Lista de las tesis en donde se encontró información que describe sistemas computacionales que hacen uso de la IA en el Diseño Arquitectónico.

Fuentes de información inicial

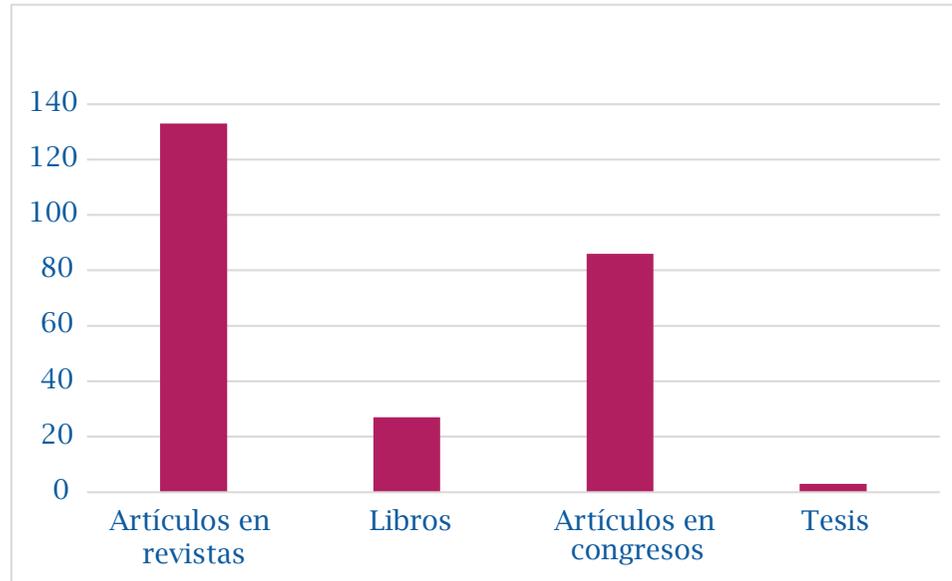


Tabla 4.7: Presenta la cantidad de artículos relacionados a el Diseño

4.2. Sistemas de IA en el Diseño Arquitectónico

En esta sección se describen y analizan los 41 sistemas encontrados, los cuales se presentan ordenados de manera cronológica, de esta manera podremos apreciar la evolución de éstos (ver las tablas ??).

4.2 Sistemas de IA en el Diseño Arquitectónico

| Sistema | Año | Método(s) de IA | Fase | Participación | Descripción |
|-----------------|------|---------------------------------|--------------------|---------------------|--|
| 1 Arch. Machine | 1970 | Algorítmico | Analítica | Problematicar | Herramienta experimental para asignar cualidades arquitectónicas a un proyecto |
| 2 ABD | 1994 | Algorítmico | Creativa | Generar | Sistema con la capacidad de diseñar edificios residenciales automáticamente |
| 3 UHDFP | 1997 | Algorítmico | Ejecutiva | Detallar | Sistema para analizar dibujos arquitectónicos |
| 4 RTRT | 1998 | Agentes Inteligentes | Analítica | Clarificar | Sistema para deducir las intenciones de Diseño |
| 5 Shaper | 1998 | Gramáticas | Creativa | Generar | Sistema para generar volúmenes arquitectónicos |
| 6 ALDO | 2001 | Algorítmico | Creativa | Idear | Sistema auxiliar en el proceso de Diseño para mejorar las propuestas arquitectónicas |
| 7 GS | 2001 | Algoritmos genéticos | Creativa | Idear | Sistema para analizar dibujos arquitectónicos |
| 8 BEDS | 2002 | Algoritmos genéticos | Creativa | Generar | Sistema capaz de proponer formas novedosas para envolventes arquitectónicas |
| 9 EsQUISE | 2002 | Semánticas | Creativa | Prototipar | Aplicación prototipo para la interpretación de bosquejos arquitectónicos |
| 10 GACSLPP | 2002 | Algoritmos genéticos | Creativa | Sintetizar | Sistema para posicionar intenciones temporales |
| 11 IA | 2003 | Gramáticas | Creativa | Generar | Herramienta para modelado automático con aplicación de la reconstrucción urbana |
| 12 SE | 2003 | Algoritmos genéticos/Gramáticas | Creativa | Conceptualizar | Sistema para ayudar e inspirar a los arquitectos en el Diseño Conceptual |
| 13 CAGHDBF | 2005 | Autómata celular | Creativa | Idear | Sistema para apoyar el proceso de Diseño arquitectónico |
| 14 eiForm | 2005 | Gramáticas | Ejecutiva | Incrementar | Sistema de Diseño estructural generativo, apoyo para la exploración |
| 15 AECIDA | 2006 | Agentes inteligentes | Creativa | Sintetizar | Asiste la exploración y creatividad en el dominio de las formas arquitectónicas |
| 16 PHG | 2006 | Gramáticas | Creativa | Generar | Sistema capaz de hacer propuestas en diferentes estilos arquitectónicos |
| 17 PD | 2008 | Algoritmos genéticos | Ejecutiva | Detallar | Experimento para modelar un objeto arquitectónico utilizando simulaciones |
| 18 ABC | 2008 | Gramáticas | Creativa/Ejecutiva | Idear | Sistema para la personalización de viviendas proyectadas de manera masiva |
| 19 AR | 2010 | Semánticas | Creativa | Generar | Sistema para la generación de edificios en tiempo real |
| 20 CGRBL | 2011 | Red Bayesiana | Creativa | Generar | Sistema para la generación automática de planos arquitectónicos |
| 21 ParaGen | 2011 | Algoritmos genéticos | Analítica/Creativa | Explorar/Sintetizar | Sistema para la generación de un matiz de soluciones arquitectónicas |
| 22 MOEA | 2011 | Algoritmos evolutivos | Creativa | Prototipar | Sistema que distingue entre la solución válida y las alternativas generadas |
| 23 ADDRH | 2011 | Gramáticas | Creativa | Idear | Conjunto de sistemas para facilitar el diseño y construcción edificios |
| 24 GENE_ARCH | 2011 | Algoritmos genéticos/Gramáticas | Creativa | Sintetizar | Sistema para la interpretación y propuesta de patios islámicos |
| 25 GRAMATICA | 2011 | Gramáticas | Creativa | Conceptualizar | Brinda apoyo a la forma de trabajar y pensar del Diseñador, actuando como un puente |
| 26 CABUILD | 2012 | Agentes inteligentes | Ejecutiva | Detallar | Diseño de edificios asistido por computadora, diseño y representa planos amueblados |
| 27 Rocksolver | 2012 | Algoritmos de búsqueda/SA | Creativa/Analítica | Explorar/Generar | Construye una estructura virtual que proporciona una secuencia constructiva |
| 28 BESHDI | 2013 | Gramáticas | Creativa | Idear | Asiste la exploración y creatividad en el dominio de las formas arquitectónicas |
| 29 CAD/E | 2014 | Lógica difusa | Creativa | Idear | Apoyo en actividades de base computacional, intuición humana y su combinación |
| 30 EPSAP | 2014 | Algoritmos evolutivos | Creativa | Generar | Genera alternativas de acuerdo a los deseos y preferencias del Diseñador |
| 31 D_p.layout | 2015 | Algoritmos Evolutivos | Creativa | Generar | Sistema para la evaluación y el desarrollo de plantas arquitectónicas |
| 32 IRRGA | 2016 | Algoritmos genéticos | Creativa | Conceptualizar | Sistema para explorar problemas estructurandolos como un Diseño conceptual |
| 33 ABTF | 2016 | Agentes inteligentes | Creativa | Generar | Generación automática de plantas arquitectónicas, de un programa arquitectónico |
| 34 GARH | 2016 | Algoritmos genéticos | Analítica/Creativa | Explorar/Generar | Sistema para la generación de un matiz de soluciones arquitectónicas |
| 35 ANNAD | 2017 | Algoritmos evolutivos | Creativa | Prototipar | Sistema que otorga la posibilidad de generar nuevas formas arquitectónicas |
| 36 DreamSketch | 2017 | Algoritmos genéticos | Creativa | Generar | Sistema para la generación de objetos con el auxilio del bosquejo digital |
| 37 AIAGCDL | 2018 | Machine learning | Analítica/Creativa | Explorar/Generar | Sistema para la evaluación de Diseños existentes codificados de manera gráfica |
| 38 SOEDAFDAM | 2019 | Algoritmos evolutivos | Creativa | Generar | Herramienta generativa, para incrementar la creatividad del proceso de Diseño |
| 39 Dynamo | 2021 | Algoritmos genéticos | Creativa | Generar | Plataforma con un editor gráfico para el Diseño generativo |
| 40 Grasshopper | 2021 | Algoritmos genéticos | Creativa | Generar | Aplicación con el uso del la programación visual para el modelado paramétrico |
| 41 Fusion 360 | 2021 | Algoritmos genéticos | Analítica/Creativa | Explorar/Generar | Sistema de Diseño paramétrico |

Tabla 4.8: Presenta los artículos estudiados en orden cronológico relacionados a la IA en el Diseño arquitectónico.

4.2.1. *The Architecture Machine*

En 1970, Negroponte (77), presentó un sistema con el objetivo de estudiar el deseo y la viabilidad de establecer una conversación con una máquina acerca de un proyecto de Diseño, para considerar la máquina como un colaborador o incluso como una amiga. El método de IA utilizado, se identifica solamente como algorítmico. Se estableció en esta investigación usar el sistema como el reflejo de los criterios de Diseño del mismo arquitecto, para formar las respuestas con la información en la base de datos de la experiencia del usuario.

El sistema no tuvo la habilidad de resolver un problema de Diseño, fue sólo un prototipo de investigación. Éste funcionó como una herramienta de experimentación que tenía la capacidad de asignar cualidades explícitas o implícitas, tales como: asoleamiento, accesos, limitación visual, uso, control de temperatura, luz natural, etc., a una geometría específica, como se puede apreciar en la Fig. 4.4.

El sistema experimental se desenvuelve en la Fase Analítica del proceso de Diseño, éste no fue diseñado para manejar problemas de Diseño reales, sino para comprender el deseo y la viabilidad de llevar a cabo un proyecto de Diseño, es decir explorar con un sistema computacional inteligente. Es por eso que podemos decir, que las acciones que realiza son meramente analíticas, dado que su objetivo principal fue el de monitorear los procedimientos que se hacen durante el proceso de Diseño y funcionar como un ayudante.

Con *The Architecture Machine*, el usuario selecciona un modo para trabajar e iniciar una actividad de Diseño, el sistema recibe una señal para iniciar una acción determinada. Por ejemplo, si el usuario quiere desarrollar la disposición de formas geométricas con limitaciones estructurales, entonces el sistema desarrolla una simulación con las limitaciones descritas por el usuario. A diferencia de nuestra propuesta iterativa, la propuesta presentada en este sistema se describe como secuencial pero otorga la libertad al usuario para desarrollar su proceso, con la posibilidad de interrumpir una acción y comenzar de nuevo.

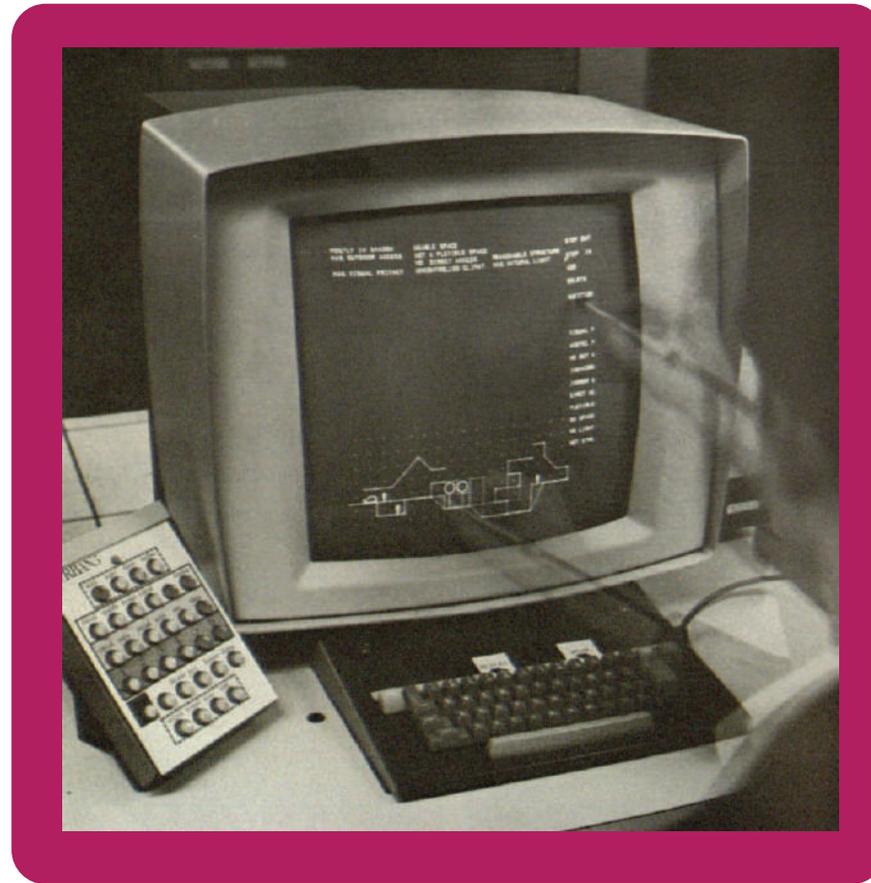


Figura 4.4: Ilustra la interfaz de *The Architecture Machine* con el cuestionamiento de un elemento y una lista de cualidades propuestas por el sistema.

4.2.2. ABD (*Automatic Building Design*)

En 1994, Schwarrz et al. (96), propusieron el prototipo de un sistema, capaz de diseñar edificios residenciales de manera automática con el uso de un algoritmo generativo. El sistema recibe una serie de restricciones y preferencias a satisfacer, las cuales usa para crear y mostrarle al usuario humano, diferentes planos arquitectónicos que las satisfagan. Éste usa entes matemáticos llamados grafos para representar el conjunto de requerimientos y preferencias de diseño, los cuales utiliza para realizar una búsqueda en el espacio de posibles soluciones.

Esta forma de trabajo, permite que el usuario se enfoque en obtener su conjunto de preferencias correcto, dejándole al sistema la responsabilidad de generar los planos apropiados. Esto le ayuda tanto a realizar su trabajo en menor tiempo, como a comprender mejor el problema al tener la posibilidad de inspeccionar un conjunto grande de posibles soluciones. La Fig. 4.5 muestra la interfaz de usuario y un ejemplo de un plano generado.

Podemos definir que la participación de este sistema está dentro de la Fase Creativa, con la síntesis de las reglas para la generación de planos, recordando que tanto la síntesis de información como la generación se encuentran en esta Fase.

En ABD, el diseñador humano es el responsable de proporcionar un conjunto de reglas, las cuales pueden ser editadas; éstas corresponden a la definición, dimensionamiento y posicionamiento de una habitación. Una vez establecidas las reglas, el sistema es responsable de la generación de los planos. Es importante notar que de acuerdo al proceso de Diseño propuesto en este trabajo de investigación, las acciones de edición de reglas y de generación de planos, no proporcionan la suficiente información para poder obtener una propuesta de Diseño completa.

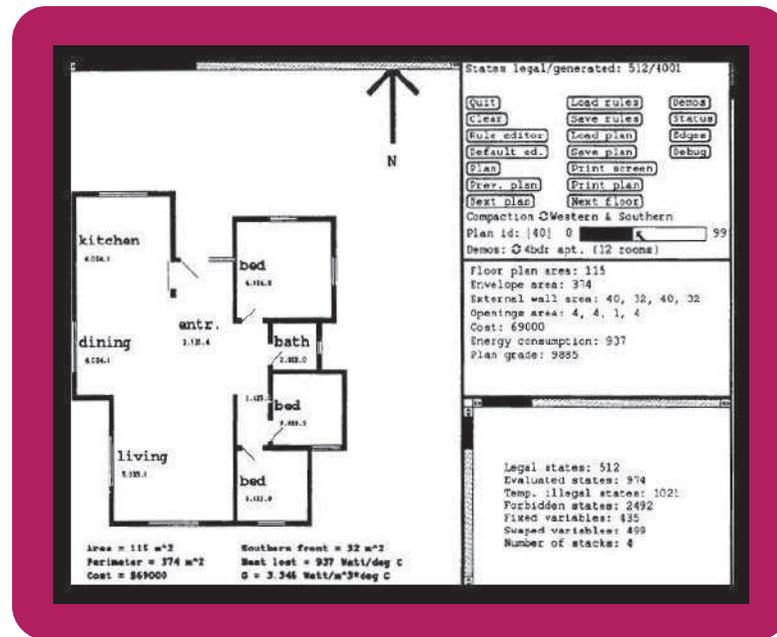


Figura 4.5: Ilustra la interfaz y un plano generado con el sistema ABD.

4.2.3. UHDFP (*A system to understand hand-drawn floor plans*)

En 1997, Lladós et al. (58), usaron un algoritmo de combinación de gráficos para crear un sistema capaz de analizar dibujos arquitectónicos a mano alzada, en el contexto del Diseño Asistido por Computadora (CAD).

El sistema tiene la capacidad de identificar los diferentes elementos de un plano arquitectónico, reconociendo los elementos gráficos como: puertas, ventanas, muros y mobiliario. Con UHDFP, el diseñador humano realiza un bosquejo de un plano arquitectónico a mano alzada, este bosquejo es escaneado y el sistema ejecuta un proceso de reconocimiento y combinación de gráficos para su vectorización como se muestra en la fig. 4.6. La entrada del sistema es analizada de tal manera, que se

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO ARQUITECTÓNICO

hace una reconstrucción del bosquejo conectando componente, definiendo muros y mobiliario. Éste sigue siendo un proceso con bastantes limitaciones para obtener un proyecto avanzado, y que el bosquejo debería contener la información suficiente para procesarlo como un proyecto ejecutivo.

El sistema realiza la acción de detallar y, aunque el detallado consiste solo en la vectorización de un bosquejo hecho por un humano, el potencial de su acción define que su participación se encuentra en la Fase Ejecutiva del Proceso de Diseño.

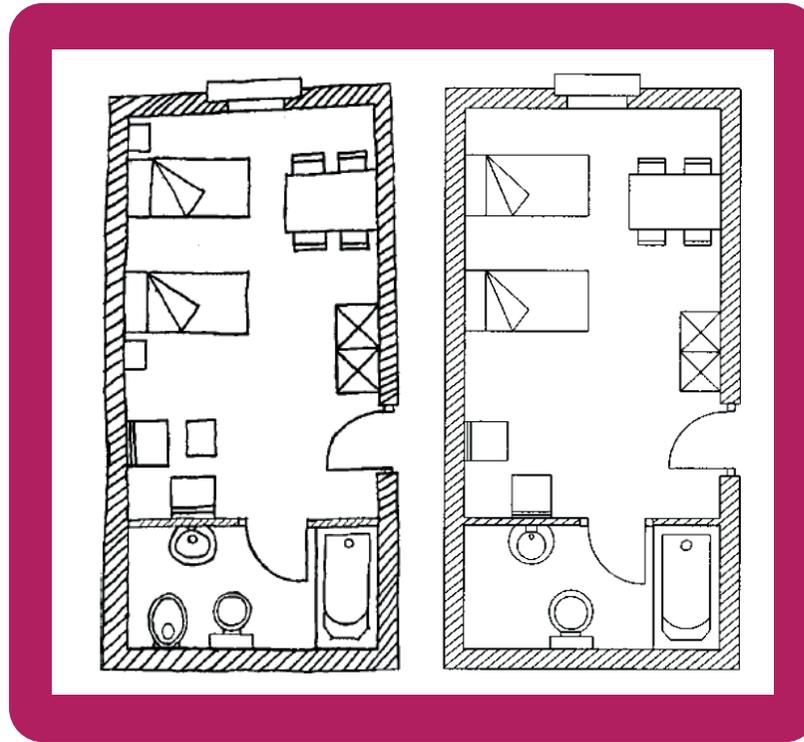


Figura 4.6: Ilustra la vectorización de un bosquejo en la parte izquierda y la optimización por parte del sistema.

4.2.4. RTRT (*The Right Tool at the Right Time*)

En 1998, Yi-LuenDo (120), presentó en su tesis un sistema prototipo para deducir las intenciones de Diseño, en el que el sistema analiza los bosquejos a mano alzada y reconoce los símbolos y configuraciones en el dibujo del Diseñador.

El sistema trabaja con diferentes asistentes inteligentes, los cuales se activan al deducir un dibujo hecho por el Diseñador en su proceso creativo, un ejemplo se muestra en la Fig. 4.7.

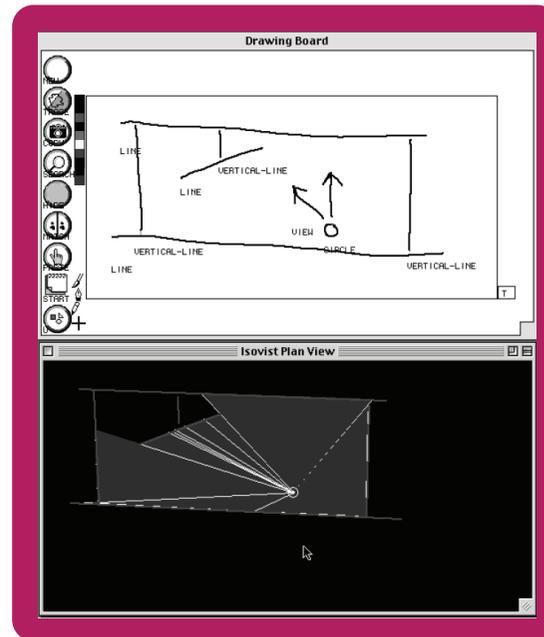


Figura 4.7: Ilustra el reconocimiento de los elementos de un bosquejo y trasladado a la representación de muros por el sistema RTRT.

El sistema trabaja en el matiz que conforma la Fase Analítica. Su función es la de analizar la información contenida en bosquejos hechos por el diseñador humano y activar herramientas de Diseño según la etapa en la que el diseñador humano está trabajando.

Para usar el sistema RTRT, el diseñador humano debe alimentar al sistema con un bosquejo, ya sea un diagrama de burbujas, una sección arquitectónica, un plano, números o una perspectiva. El sistema analiza el bosquejo para determinar la intención de éste en alguna categoría, ya sea el acomodo espacial, consulta de imágenes, análisis de las vistas, cálculos numéricos o estudio de la volumétrica. El sistema después presenta las herramientas de Diseño apropiadas para continuar el proceso de Diseño.

4.2.5. Shaper (*3D Architecture Form Synthesizer*)

En 1998, Wang (115), presentó un sistema para generar volúmenes arquitectónicos con la asistencia de una computadora, utilizando la técnica de IA de gramáticas de forma. Genera volúmenes en tercera dimensión de acuerdo con parámetros y reglas establecidas por el usuario, como: relación espacial entre los elementos, dimensiones, rotaciones, así como el número de iteraciones que el sistema ejecutará. El sistema inicia con la asignación de parámetros y puede generar una combinación de volúmenes, tal como se muestra en la Fig. 4.8.

Shaper realiza una síntesis de una figura tridimensional, es por eso que podemos determinar que trabaja en la Fase Creativa, sintetizando una serie de parámetros determinados por el usuario y generando un volumen virtual.

Con Shaper, el diseñador humano debe determinar un conjunto de reglas y parámetros, como: ancho largo y altura de los elementos, para que el sistema se encargue de hacer la generación de una volumetría. Colocando la información de largo, ancho y altura, así como las reglas para la posición de los elementos, se pueden obtener ideas para el Diseño volumétrico de un proyecto arquitectónico.



Figura 4.8: Ilustra la interfaz de Shaper y la generación de un volumen en tercera dimensión.

4.2.6. ALDO (*Architectural Layout Design Optimization*)

En el 2001, Michalek et al. (71), definieron un nuevo acercamiento para la optimización de planos arquitectónicos con el uso de Algoritmos Basados en Grados y el uso de Algoritmos Evolutivos.

El sistema se presentó como un modelo de optimización de los aspectos cuantificables en el diseño de un plano arquitectónico como: costo de climatización artificial, dimensión de los espacios y dimensión de los accesos. La propuesta se desarrollo integrando la toma de decisión del usuario. En la Fig. 4.9 podemos observar un ejemplo de una generación hecha por el sistema.

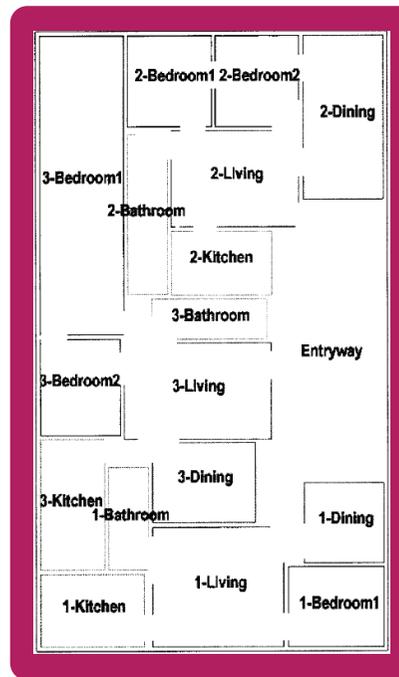


Figura 4.9: Ilustra la generación hecha por el sistema ALDO.

El sistema interviene en la Fase Creativa del proceso de Diseño, ésto debido a que presenta la generación de un plano arquitectónico en su etapa conceptual.

Al utilizar ALDO, el diseñador humano determina una lista de restricciones como: superposición, conectividad, camino, accesos o envolventes, para que de manera automática el sistema genere un plano arquitectónico. El sistema puede realizar miles de planos, aunque sólo unos cientos son viables. Las restricciones descritas por el usuario, son la base para que el sistema realice la generación, las cuales pueden someterse a revisión para obtener resultados óptimos, esta revisión tendría que ser por parte del usuario en la Fase Analítica del proceso de Diseño.

4.2.7. GS (*Generative System: Using Adaptation to Shape Architectural Form*)

En el 2001, Caldas (19), introdujo un Sistema de Diseño Generativo, como auxiliar para los arquitectos en el proceso de Diseño. Uno de los objetivos presentados en el desarrollo de esta propuesta fue el de mejorar el Diseño de los edificios en el medio ambiente.

El sistema hace uso de la técnica de Algoritmos Genéticos como motor de búsqueda y optimización, éste tiene la capacidad de generar de manera total la geometría de un edificio, como se muestra en la Fig. 4.10, a partir de las relaciones abstractas entre los elementos de Diseño y la evolución de las formas arquitectónicas. Los algoritmos fueron probados para la adaptación de proyectos en diferentes entornos.

El sistema presenta resultados en la Fase Creativa del proceso de Diseño, al ser la salida un modelo en tres dimensiones, que puede ser desde esquemático hasta llegar a ser bastante complejo.

La aplicación del GS combina el sistema y las herramientas de modelado, en donde se presentan las variables como: el asoleamiento y la iluminación natural o los ejes de composición y aberturas. Estas variables pueden ser manipuladas por el diseñador humano para la generación de un modelo. El sistema por su parte, interpreta las variables y las utiliza para producir su salida.



Figura 4.10: Ilustra tres modelos en la parte superior, generados por Alvaro Siza y tres modelos en la parte inferior, generados por le Sistema GS.

4.2.8. BEDS (*Generative and Evolutionary Techniques for Building Envelope Design*)

En el 2002, Frazer et al. (35) combinaron funciones matemáticas y modelado en tres dimensiones usando Algoritmos Genéticos. El objetivo de este estudio fue proponer formas novedosas para el Diseño de Envoltentes para Edificios.

El sistema mostró resultados prometedores, como el que se muestra en la Fig. 4.11.

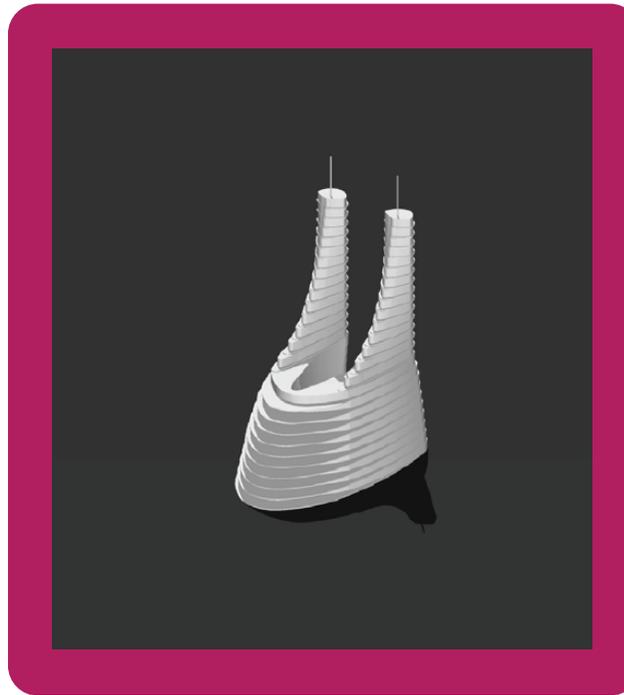


Figura 4.11: Ilustra una envoltente desarrollada por el Sistema de Diseño de Envoltentes para Edificios.

El sistema propone modelos o formas tridimensionales consideradas como novedosas, las cuales representan envoltentes para

edificios. Por esta razón se atribuye su participación durante la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que la generación de modelos es parte de ésta.

El sistema BEDS está basado en el funcionamiento de un sistema de modelado virtual, que contiene una librería de objetos, entre los cuales se pueden identificar sólidos complejos. El usuario puede determinar un modelo usando un objeto de la librería y determinando dos funciones matemáticas, por ejemplo un eje central y un contorno. El sistema se encarga de manera automática de dividir la envolvente en un gran número de células y capas, los interiores del modelo pueden ser generados también. Al final del proceso se obtiene un objeto que puede ser exportado a otros sistemas.

Sin duda, este sistema puede ser añadido a un proceso de Diseño convencional para obtener resultados muy interesantes.

4.2.9. EsQUIsE (*The absent interface in design engineering*)

En el 2002, Leclercq et al. (57), propusieron un sistema con la capacidad de interpretar bosquejos y proporcionar datos para la evaluación de proyectos, resultado de fases tempranas en el proceso de Diseño.

Se presenta un prototipo de sistema que hace uso de un modelo semántico para leer e interpretar bosquejos arquitectónicos con el uso de filtros gráficos de computadora difusos. El usuario realiza un bosquejo que luego es interpretado por el sistema, tal como se muestra en la Fig. 4.12.

La participación en la Fase Creativa, es identificada en esta propuesta por parte del usuario y el sistema. El usuario presenta un bosquejo y el sistema lo sintetiza en un modelo funcional.

La utilización de EsQUIsE consiste en la captura de un bosquejo por parte del usuario. El sistema utiliza filtros gráficos de computadora difusos para hacer el trazo inicial, luego sintetiza las líneas y hace un reconocimiento de texto, después desarrolla un modelo topológico con función y datos implícitos, al final del proceso el sistema proporciona un modelo funcional y lo somete a evaluaciones. Se puede resumir que EsQUIsE trabaje en dos pasos, la construcción de un modelo geométrico y el análisis de este modelo, el modelo construido es el que sirve como ayuda en la concepción de un proceso de Diseño completo y su uso en este procesos puede ser viable debido al conocimiento implícito de alguna disciplina de Diseño.

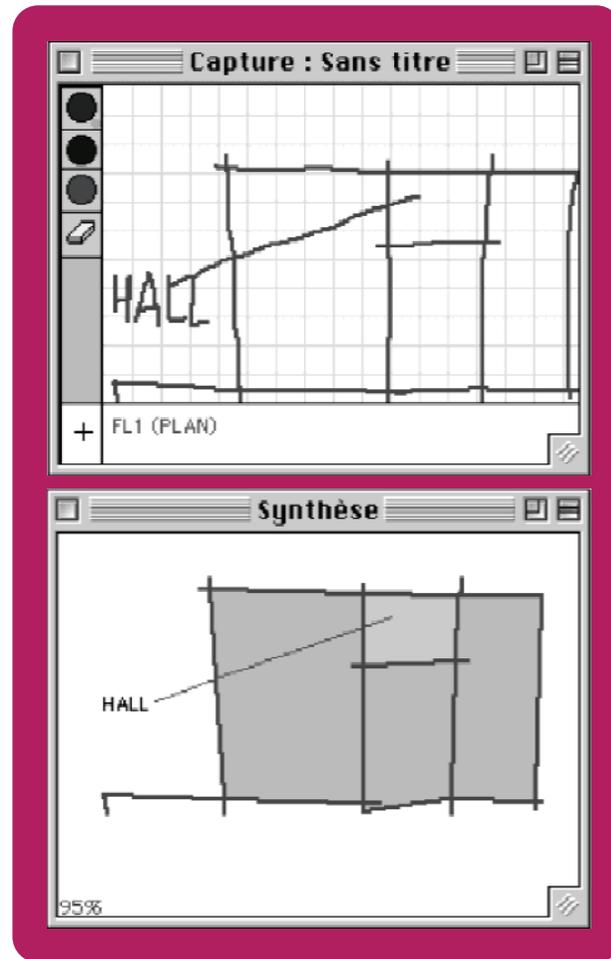


Figura 4.12: Ilustra la interfaz y un bosquejo hecho por el usuario así como la interpretación del bosquejo por el sistema.

4.2.10. GACSLPP (*Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning*)

En el 2002, Mawdesley et al. (67), propusieron un Algoritmo Genético Aumentado en un sistema para posicionar instalaciones temporales; la aplicación del sistema, se trasladó también a los problemas de Diseño en el sitio de construcción.

Se trabajó con un proyecto real, considerando una nave industrial con oficinas y estacionamiento, como se muestra en la Fig. 4.13, en donde se usó información para configurar la solución en planta, se situaron almacenes temporales para proveer con materiales la construcción del complejo.

El sistema presenta un esquema de solución en planta sin llegar a ser un plano, por lo tanto se considera que éste trabaja en la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que es en esta Fase donde hemos analizado y colocado las primeras expresiones visuales de un proyecto arquitectónico.

Para el uso del sistema GACSLPP, el usuario propone las variables de Diseño, configura los parámetros, como la localización de algunas áreas, así como el costo y finalmente establece el objetivo. El sistema se encarga de generar una solución. Esta solución puede ser empleada en el proceso de Diseño para posteriormente ser utilizada por el usuario como inspiración.

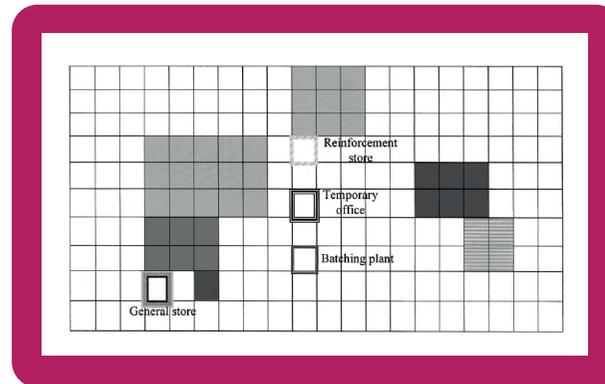


Figura 4.13: Ilustra el esquema de la solución en planta desarrollado por el sistema GACSLPP.

4.2.11. IA (*Instant Architecture*)

En el 2003, Wonka et al. (117), presentaron un método para el modelado automático de arquitectura como una herramienta para la reconstrucción urbana e introdujeron el concepto de gramáticas divididas.

La herramienta propuesta es un Diseño-Gramático, el cual cuenta con una base de datos que permite al usuario especificar las características de un edificio, como la forma, la simetría y el nivel de complejidad de la fachada. Con esta propuesta de sistema se pueden modelar una gran variedad de edificios, como se muestra en los ejemplos de la Fig. 4.14.



Figura 4.14: Ilustra un edificio cilíndrico y una composición con distintos prismas rectangulares desarrollados con el sistema IA.

El sistema desarrolla modelos arquitectónicos de manera automática, presenta proyectos genéricos o guiados a un objetivo específico, por estas cualidades podemos decir que la participación del sistema es en la Fase Creativa del proceso de Diseño.

En el sistema de IA, el usuario especifica las reglas y los objetivos de Diseño. Por ejemplo para determinar la coherencia de los elementos ornamentales. También controla la aleatoriedad para lograr una salida congruente y puede manipular de manera directa las gramáticas consideradas en esta propuesta, como una de las herramientas con más poder de Diseño. El sistema se encarga de generar en forma automática una geometría compleja de un volumen arquitectónico virtual.

4.2.12. SE (*Shape Evolution*)

En el 2003, Orestes (22), propuso un sistema para el apoyo en el Diseño Conceptual. Utiliza algoritmos genéticos y gramáticas de formas. Estuvo dirigido para ayudar e inspirar a los arquitectos en esta etapa, buscando ofrecer Diseños para satisfacer función y estilo.

El sistema tiene la capacidad de trabajar con reglas como: el número de departamentos, la cantidad de espacios para circulación, la altura, etc., y distribuir unidades en forma de bloques para determinar un volumen en tercera dimensión, como se muestra en la Fig.4.15.

Este sistema se desenvuelve en la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que la salida del sistema es un modelo en tercera dimensión que tiene el objetivo de representar una maqueta virtual para determinar la funcionalidad y estilo de un proyecto, sirviendo como inspiración para la elaboración de un proyecto arquitectónico.

Para el uso del sistema SE, primero se configuró un lenguaje de unidades, distinguiendo formas y bloques de circulación. El usuario determina las reglas para la generación del modelo virtual, por ejemplo para colocar formas en la parte superior de bloques de circulación. El sistema se encarga de hacer una generación de manera automática, de acuerdo con las reglas generadas y de evaluar el resultado.



Figura 4.15: Ilustra un modelo generado por el Sistema SE.

4.2.13. CAGHDBF (*Using Cellular Automata to Generate High-Density Building Form*)

En el 2005, Herr et al. (45), presentaron una investigación de la aplicación de un sistema denominado CAGHDBF, que utiliza la técnica de autómatas celulares, en el contexto de la Arquitectura de alta densidad en ciudades asiáticas.

El sistema CA fue propuesto para el apoyo en el proceso de Diseño en el dominio de la Arquitectura, experimentando con parámetros como el número de torres, alturas, inclinaciones, etc., obteniendo formas arquitectónicas, como se muestra en la Fig. 4.16.

Las propuestas experimentales para el proyecto de Cero9's con CAGHDBF, colocan la participación del sistema en la Fase Creativa del proceso de Diseño, sintetizando la información y presentándola en un modelo virtual.

Con CAGHDBF el diseñador humano puede colocar variables como la altura del proyecto, la localización, etc., y hacer modificaciones de manera manual después de la generación del sistema. El sistema genera unidades en una red homogénea y de manera automática construye volúmenes virtuales. La arquitectura puede beneficiarse de este tipo de sistemas, ya que las tareas para el sistema se vuelven más flexibles, al permitir las modificaciones por parte del usuario en determinados pasos.

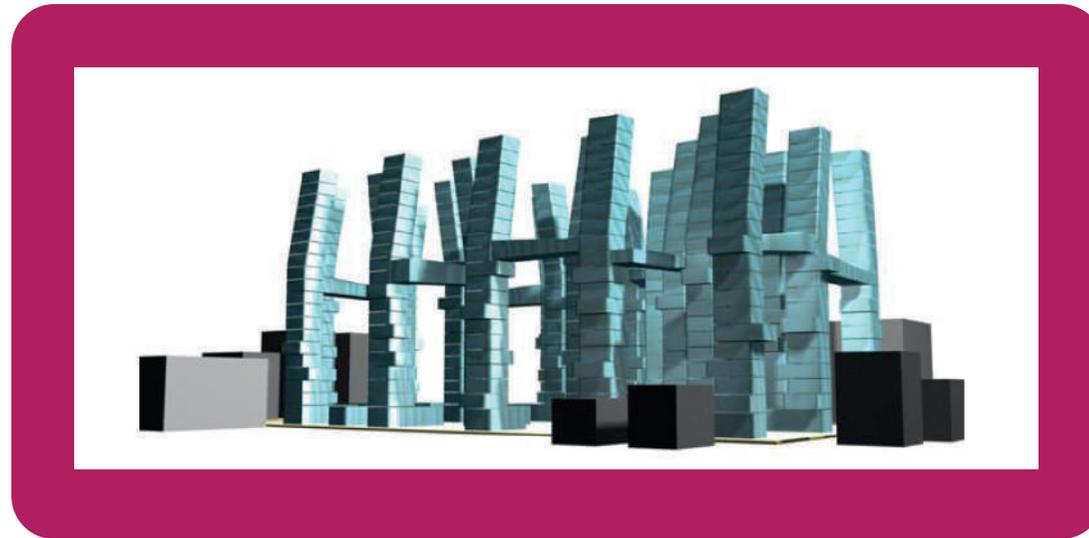


Figura 4.16: Ilustra una versión desarrollada por el sistema CA del Diseño de Cero9's en el norte de Japón.

4.2.14. eiForm (*generative design tools*)

En el 2005, (99), describieron la incorporación de un sistema de diseño estructural generativo y un sistema de modelado asociativo de componentes generativos, por medio del uso de modelos *Extensible Markup Language* (XML).

El sistema puede ser utilizado para generar y optimizar elementos estructurales de acero. En la Fig. 4.17 se puede apreciar la interfaz y el desarrollo de un elemento estructural. El sistema eiForm, puede ser utilizado de igual manera para explorar la aproximación de limitaciones, con el propósito de entender su impacto sobre el diseño generado, por ejemplo para el dimensionamiento de elementos de manera constante para encontrar una solución adecuada.

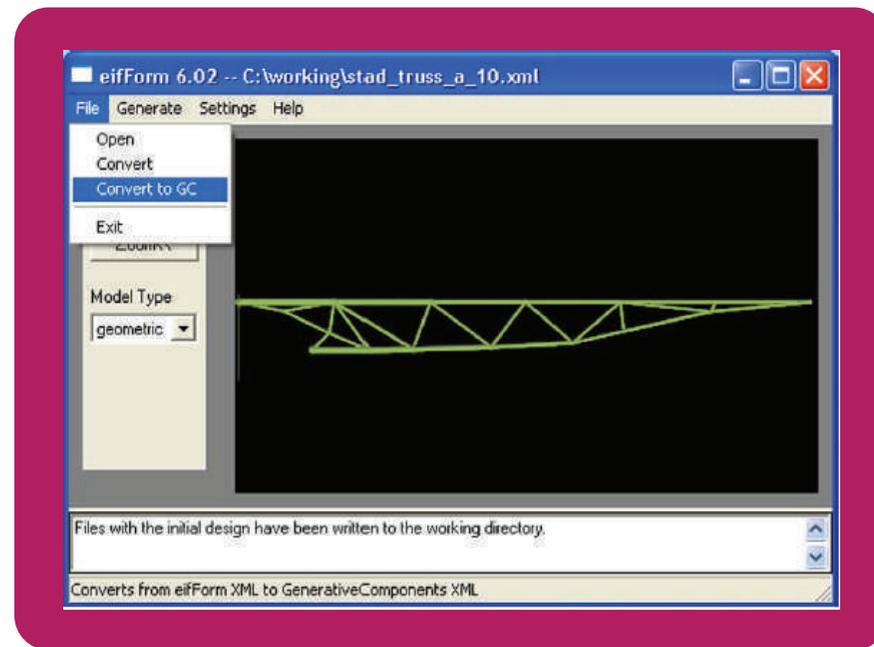


Figura 4.17: Ilustra la interfaz del sistema eiForm y el desarrollo de un elemento estructural.

Puede considerarse que el sistema participa en la Fase Ejecutiva, ya que sistemas como eiForm pretenden producir modelos eficientes, novedosos y sobre todo construibles. Un proyecto al presentar la información necesaria para construir una obra arquitectónica, debe ser considerado como ejecutivo.

Para utilizar eiForm, el usuario debe colocar una entrada, ya sea construir un modelo con las secciones disponibles en el sistema o colocar un modelo XML. El sistema se encarga de optimizar el modelo, con modificaciones de acuerdo con un análisis y evaluación estructural. El usuario tiene que aceptar o rechazar el nuevo modelo para que el sistema pueda presentar el modelo final. Con éste tipo de sistemas se pretende desarrollar nuevos procesos de Diseño y despertar el deseo del Diseñador para el uso de éstos durante su proceso.

4.2.15. AECIDA (*Architectural Exploration and Creativity using Intelligent Design Agents*)

En el 2006, (87), presentó el desarrollo de un sistema de Diseño con agentes inteligentes, con el que se pretendía apoyar la exploración y la creatividad en el dominio de las formas del Diseño Arquitectónico.

Para esta propuesta, se definió la creatividad en la Arquitectura como la propuesta de formas novedosas, las relaciones entre éstas y la propuesta de nuevos conceptos. El sistema presenta una trama inicial para el Diseñador humano, donde puede desarrollar sus ideas en forma de bosquejo. En la Fig. 4.18 podemos observar la interfaz del sistema y en él, el desarrollo de formas por parte del agente inteligente. Podría resultar de valor desarrollar sistemas de este tipo para producir alternativas que tengan la capacidad de hacer una diferencia en las propuestas de Diseño.

Podemos vincular la participación del sistema con la Fase Creativa, ya que su principal objetivo es la generación de nuevas formas en un plano bidimensional, proporcionando al usuario una red digital para bosquejar ideas.

Para el uso del sistema AECIDA, el diseñador humano propone un bosquejo de manera digital en la red para bosquejos de la interfase, el sistema reconoce todas las formas posibles de acuerdo con la idea inicial, tanto las formas explícitas así como las implícitas o formas emergentes y considera las formas que más se repiten y desecha las formas que son únicas en la composición. El sistema explora y selecciona las formas reflectantes; es decir, las formas en las que el agente tendrá su atención para producir la salida. Al final, el agente produce todas las representaciones posibles, que pueden ser encontradas tanto de manera explícita como de manera implícita.

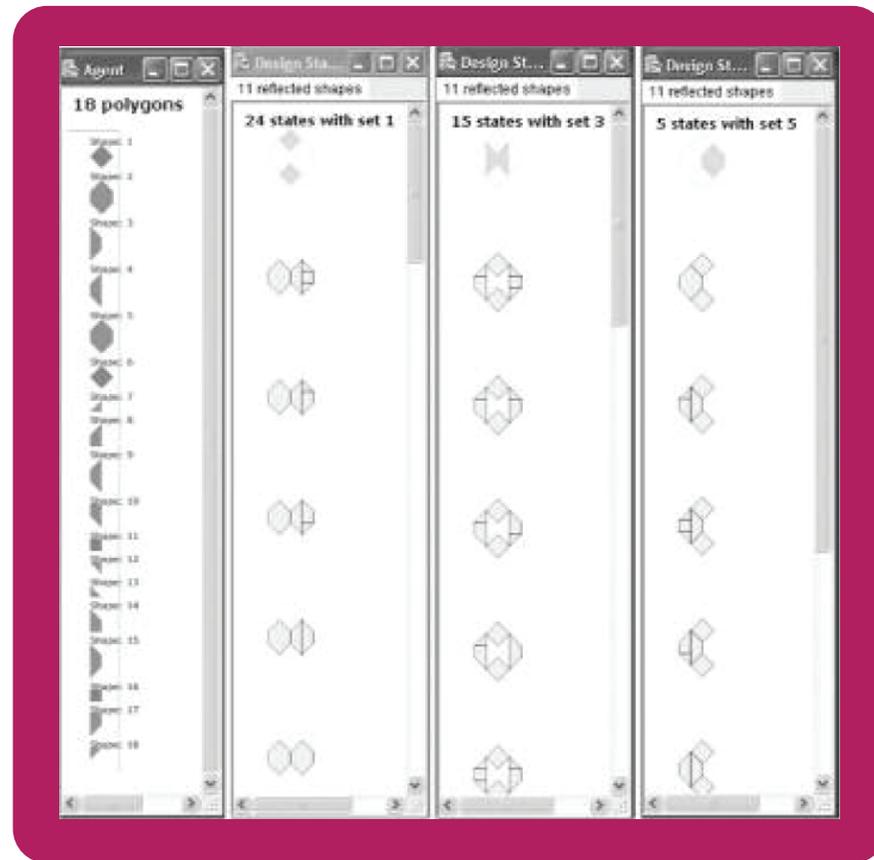


Figura 4.18: Ilustra la interfaz del sistema AECIDA y el desarrollo de formas.

4.2.16. PHG (*ProceduralHouse Generation: A method for dynamically generating floor plans*)

En el 2006, Martin (65), propuso un método para generar residencias de manera automática, usando Gramáticas y un conjunto de reglas definidas por el usuario; para la obtención de esta propuesta, se realizó una mezcla entre los conocimientos obtenidos del dominio de la arquitectura y la teoría gráfica.

El sistema tiene la capacidad de hacer la proyección en dos y tres dimensiones de una casa en el estilo en el que las reglas son establecidas, determinando la dimensión de las habitaciones y conectándolas entre sí, como se muestra en la Fig. 4.19.

El sistema trabaja de manera automática para generar un plano de una casa, éste define que su participación es dentro del esquema de actividades en la Fase Creativa.

Con el uso del sistema PHG, el usuario define un conjunto de reglas, como el número de habitaciones públicas. El tipo de habitación (colocándole la etiqueta de sala, comedor, etc.). Luego de colocar la puerta principal, el sistema se encarga de continuar el plano, colocando las habitaciones privadas y públicas. El usuario puede modificar la conexión entre las habitaciones para lograr un plano más personalizado. El sistema tiene la capacidad de imitar una casa promedio.

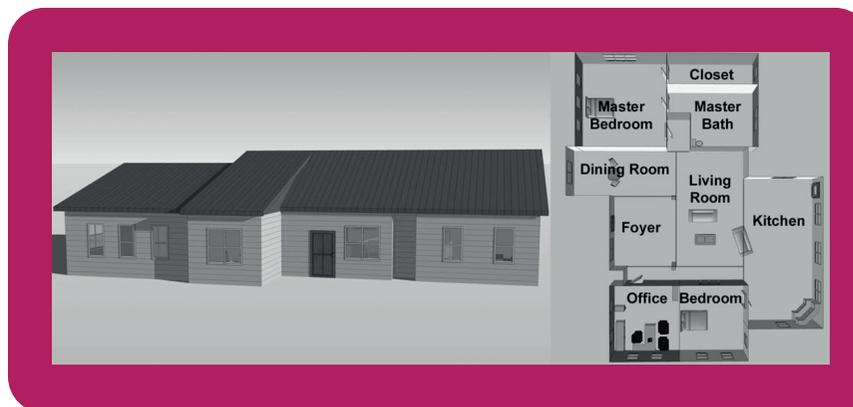


Figura 4.19: Ilustra una casa desarrollada con el sistema PHG.

4.2.17. PD (*Performance-based Design: Current Practices and Research Issues*)

en el 2008, Oxman (78), presentó un experimento, en donde un objeto es generado simulando su desempeño con esfuerzos, movimiento y condiciones lumínicas, se exploraron el uso de las simulación como una herramienta generativa con la utilización de algoritmos genéticos, las condiciones necesarias para una generación automática y la visualización de efectos formales y la generación de un proceso generativo.

Se consideraron las envolventes arquitectónicas como objeto de experimentación, las cuales fueron sometidas a simulaciones para su definición. La simulación de fuerzas, de movimiento por el viento y las condiciones de iluminación, fueron empleadas para dar forma al objeto arquitectónico, como se muestra en la Fig. 4.20.

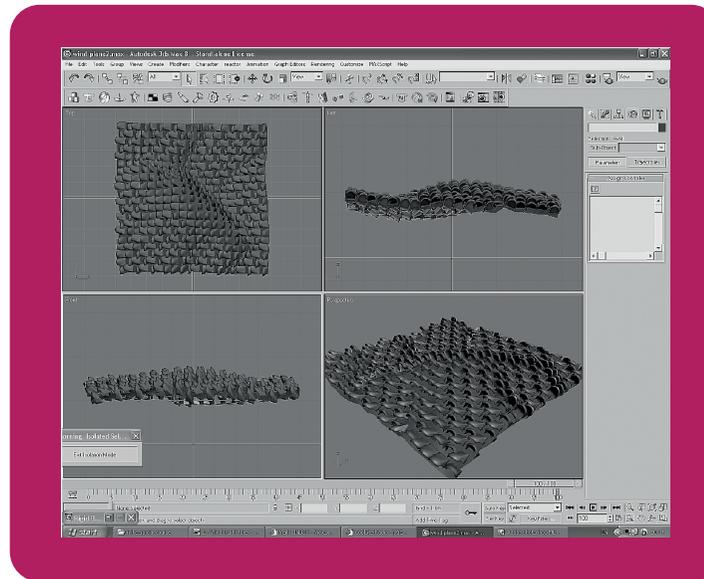


Figura 4.20: Ilustra la experimentación con una simulación que produce una curvatura en el objeto de Diseño.

El experimento muestra un modelo virtual ya construido, el cual es modificado en una simulación dinámica. Podemos calificar la participación del sistema en este experimento como parte de la Fase Ejecutiva, ya que se hacen ajustes y generan detalles sobre un objeto ya constituido.

El sistema PD debe primero ser alimentado con un modelo virtual para luego hacer una simulación de fuerzas dinámicas, como por ejemplo la fuerza del viento, el objeto es modificado de manera automática, esto significa que la forma de un objeto puede ser transformado respondiendo a un contexto virtual con un ambiente dinámico.

4.2.18. AR (*Automatic Real-Time Generation of Floor Plans Based on Squarified Treemaps Algorithm*)

en el 2010 Marson et al. (64) propusieron un acercamiento a la generación automática de los planos de una casa, usando información semántica con base en árboles de algoritmos cuadriculados, en donde el usuario determina los parámetros de construcción y las características de la planta arquitectónica, como: la altura, el largo y el ancho del edificio.

El método propuesto permite generar edificios en tiempo real para juegos de video y simulaciones, generando ambientes realistas. En la Fig. 4.21, se muestra un plano de una casa amueblada, generada por el sistema.

La categoría de este sistema se coloca dentro la Fase Creativa, ya que este se encarga de construir un modelo de una casa en dos dimensiones; es decir, un plano arquitectónico de su distribución.

El sistema AR, requiere que el diseñador humano de la definición de parámetros de construcción como: la altura, la longitud y el ancho, así como de las restricciones de área y funcionalidad deseada de la habitación. El sistema, con esta información, tiene la capacidad de generar un plano arquitectónico.



Figura 4.21: Ilustra un plano de una casa con muebles.

4.2.19. CGRBL (*Computer-Generated Residential Building Layouts*)

En el 2010, Merrell et al. (70), presentaron un sistema para la generación automática de planos arquitectónicos. Utilizaron una técnica denominada Red Bayesiana aplicando el Aprendizaje Automático. Ésta fue entrenada con información del mundo real, codificando 120 programas arquitectónicos.

Los planos arquitectónicos presentados son generados de manera automática, siguiendo la metodología del Diseño Arquitectónico y basados en los programas arquitectónicos codificados en el aprendizaje del sistema. Un ejemplo de un plano

4. CASO DE ESTUDIO: DISEÑO ARQUITECTÓNICO

generado por este sistema se muestra en la Fig. 4.22.

Este trabajo presentó la generación automática de planos arquitectónicos; cuando un sistema realiza dicha acción hemos determinado que su participación se encuentra dentro de la Fase Creativa.

Para la utilización del sistema CGRBL, el diseñador humano debe configurar un conjunto de requerimientos de alto nivel como: el número de dormitorios, baños y pisos. El programa arquitectónico debe especificar todas las habitaciones, su orientación y la colindancia entre éstas. El sistema representa el programa arquitectónico utilizando la red Bayesiana para luego convertirlo en la planta arquitectónica de una casa habitación; el sistema calcula de manera automática la optimización realizando iteraciones en esta acción.



Figura 4.22: Ilustra un plano arquitectónico desarrollado por el sistema CGRBL.

4.2.20. ABC (Armario, Baño, Cocina)

En el 2011, Benros et al. (25), presentaron un sistema utilizando métodos de gramática, integrado con un sistema de Diseño para ayudar al Diseñador en su proceso. Se describió la utilización del sistema para la personalización de viviendas, proyectadas de manera masiva con los objetivos de satisfacer los requisitos de cada casa y disminuir su costo de construcción.

El sistema de Diseño codifica reglas, como por ejemplo el número de pisos y la altura libre, para después producir diferentes salidas: un modelo tridimensional como el que se presenta en la Fig. 4.23, puede ser exportado para su renderizado, un modelo bidimensional y un presupuesto.



Figura 4.23: Ilustra la salida del Sistema ABC: un modelo tridimensional con la posibilidad de ser usado para renderizado.

Las salidas del sistema, las cuales podemos categorizar de la siguiente manera: los modelos tridimensionales y bidimensionales pertenecen a la Fase Creativa, mientras el presupuesto se coloca dentro de la Fase Ejecutiva.

Para usar ABC, el diseñador humano necesita asignar las variables, como el área y número de habitaciones, así como utilizar las funciones predeterminadas del sistema que consisten en: crear, modificar o abandonar el ciclo de generación. Por ejemplo, si el usuario especifica las variables de localización del edificio, su altura y su número de pisos, además debe utilizar la función de Crear; el sistema genera un candidato de proyecto de acuerdo con las variables establecidas.

4.2.21. ParaGen (*Using parametric modeling and genetic algorithms*)

En 2011, Turrien et al. (111), propusieron una herramienta de Diseño que combina el modelado paramétrico, la simulación y los algoritmos genéticos. La propuesta prometió incrementar la capacidad de exploración para el diseñador, permitiendo generar de manera automática un matiz de soluciones, que pueden ser almacenadas y usadas como conocimiento para exploraciones futuras. El usuario sólo tiene que definir un modelo paramétrico para iniciar el ciclo del sistema.

Un primer caso de estudio fue propuesto para explorar la forma de un domo, de acuerdo con sus propiedades estructurales y un segundo caso de estudio estuvo basado en la captación de energía solar y la posición de paneles solares, tal como se muestra en la Fig. 4.24.

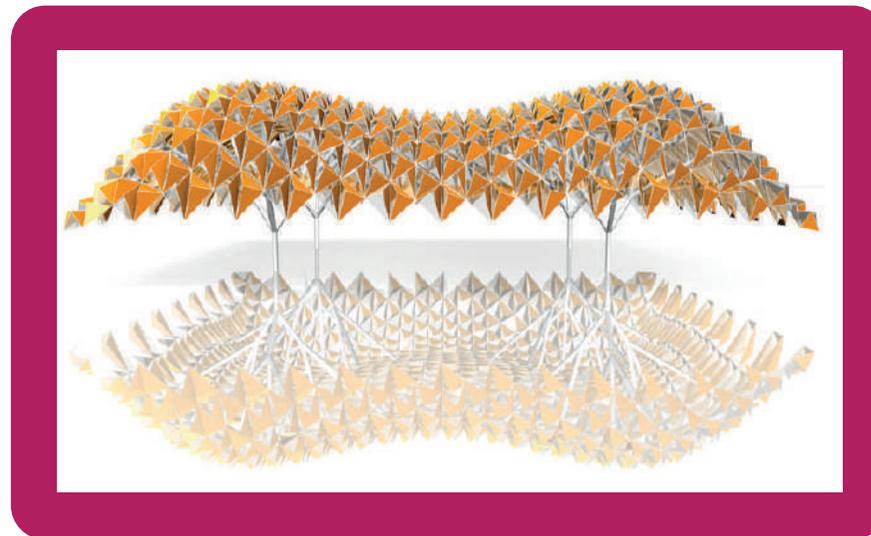


Figura 4.24: Ilustra el caso de un proyecto para el revestimiento teselado hexagonal de paneles solares por ParaGen.

De acuerdo con la participación analizada en el sistema, indica que su desempeño se clasifica en la Fase Creativa del proceso

de Diseño, presentando las alternativas de solución de Diseño como modelos tridimensionales.

El uso de ParaGen, permite la exploración en un proyecto que aumenta con la interacción de diseñador humano y el proceso cíclico de Diseño. El diseñador humano debe primero establecer un modelo paramétrico para alimentar al sistema; ParaGen, después se encarga de la selección de variables, la generación de formas, la evaluación de las formas generadas; el almacenamiento de los modelos modificados.

4.2.22. MOEA (*Multi-objective Evolutionary Search with Fuzzy Information Processing*)

En el 2011, Bittermann (14), presentó un sistema para el Diseño arquitectónico, con el objetivo de identificar una solución óptima sujeta a las prioridades del usuario, esto es que dentro de distintas opciones, una solución apta es identificada de manera sistemática. El sistema fue dotado con características cognitivas que lo hacen capaz de diferenciar la validez de las soluciones generadas por él mismo. Este sistema utiliza dos técnicas, la primera es un algoritmo evolutivo con búsqueda de objetivos múltiples y la segunda es el proceso de información difusa.

Un caso de estudio fue propuesto para la modificación de la sala del *Rotterdam's World Trade Center*, tomando en cuenta los requerimientos necesarios de percepción de un observador virtual. Por ejemplo, una de las limitaciones fue que la escalera debería pasar desapercibida. En la Fig. 4.25, podemos observar una visualización del modelo en tercera dimensión de una de las propuestas del sistema para este espacio.

El sistema se relaciona con dos fases del Proceso de Diseño, la Fase Analítica y la Fase Creativa, esto es debido a que la IA puede satisfacer preferencias de primer orden determinadas por el usuario y deducir preferencias denominadas de segundo orden por sí misma; es decir, distintas a las establecidas por el usuario y difíciles de predecir.

En el sistema MOEA, el diseñador humano asigna los criterios o preferencias para el Diseño como una geometría deseada, el sistema busca satisfacer las preferencias generando un determinado número de soluciones y seleccionando la más adecuada, también propone las preferencias de segundo orden. El diseñador selecciona la propuesta más cercana a sus preferencias o puede repetir el proceso hasta obtener una solución.



Figura 4.25: Ilustra la interfaz del sistema MOEA y el desarrollo de una propuesta en modelo en tercera dimensión.

4.2.23. ADDRH (*Automated Design and Delivery of Relief Housing : The Case of post-Earthquake Haiti*)

En 2011, (25), propusieron dos sistemas integrados, uno para Diseño y otro para facilitar la construcción, utilizando gramáticas de forma con el objetivo de proveer hogares sostenibles personalizados en una emergencia por desastre. Las reglas integradas al sistema están en relación a la forma y función de las viviendas, considerando: la recreación de las condiciones de vida mínimas para una población afectada, el incremento de estas condiciones de vida y la mejora del entorno.

El sistema de Diseño permite el desarrollo de alternativas de Diseño, como la que se muestra en la Fig. 4.26.

Los sistemas presentados en este artículo, trabajan dentro de la Fase Creativa y la Fase Ejecutiva, ya que presentan distintas salidas muy detalladas en dos y tres dimensiones.

El sistema ADDRH es responsable de la generación automática de planos y maquetas virtuales. Para esto el diseñador humano debe determinar las reglas de Diseño. Estas reglas fueron determinadas para recrear las condiciones de vida mínimas

requeridas para una población afectada en caso de desastre. El sistema se encarga de seleccionar la trama o red donde se construirá el plano arquitectónico, dimensionar las áreas, colocar las circulaciones verticales, adecuar el proyecto a determinada topografía, colocar la cubierta, determinar los elementos en función de la iluminación natural y ventilación cruzada y predecir una futura expansión de la red inicial. El resultado del proceso es un modelo muy detallado para la realización del proyecto.

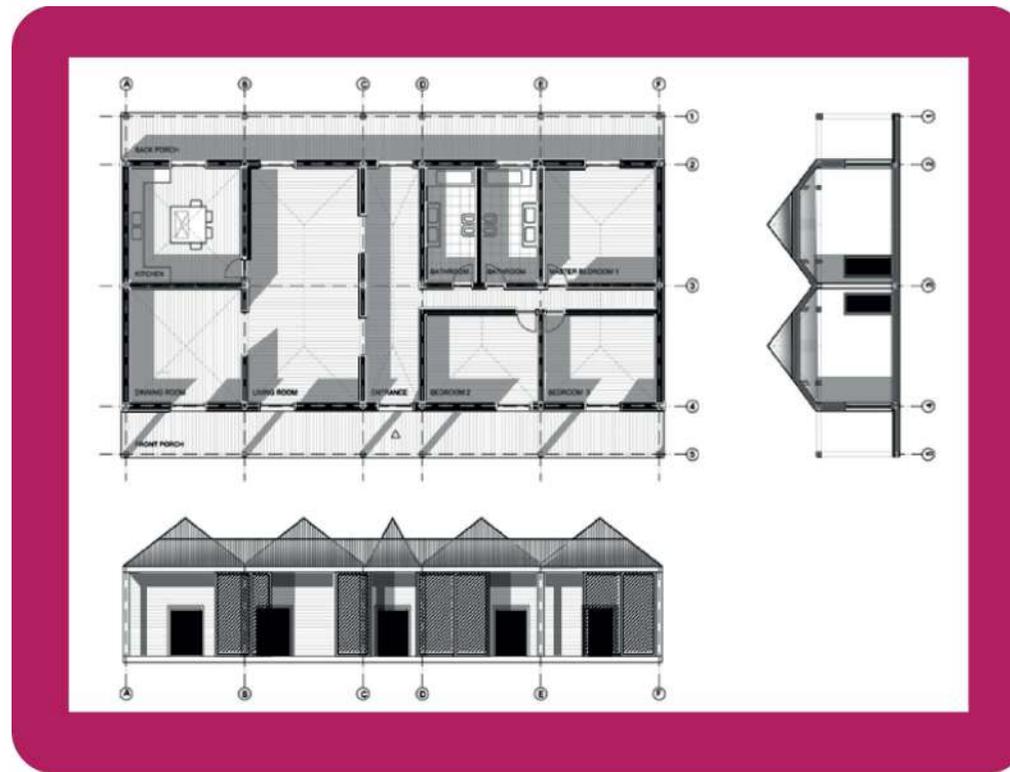


Figura 4.26: Ilustra una alternativa de Diseño del Sistema ADDRH.

El sistema de construcción se compone por cuatro subsistemas: 1)Estructural, 2)Muro cortina y cubierta, 3)Cimentaciones, 4)Juntas. Este permite la visualización de un modelo tridimensional, como se muestra en la Fig. 4.27 de un casa terminada.

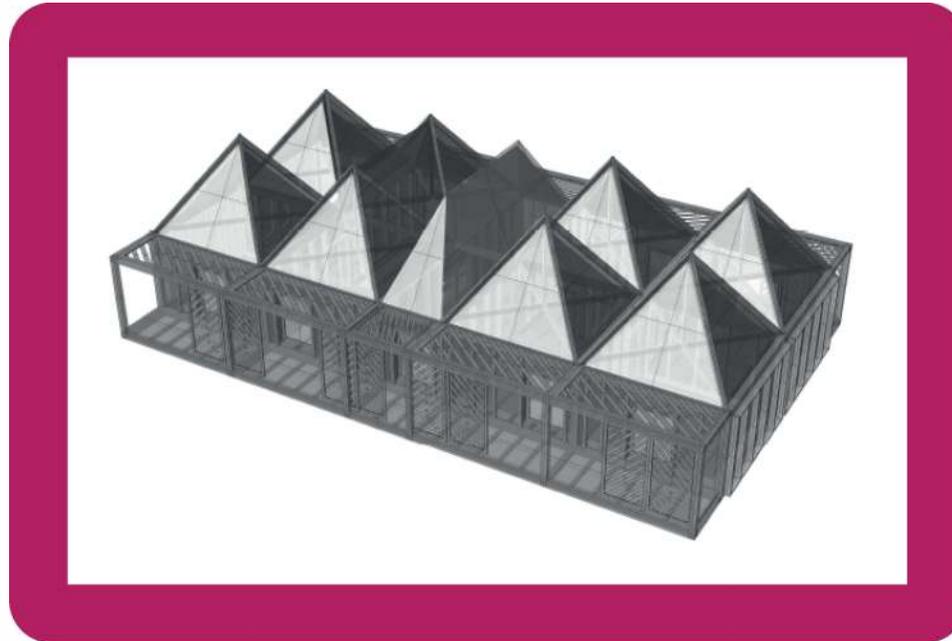


Figura 4.27: Ilustra la construcción de un modelo virtual con el Sistema para construcción ADDRH.

4.2.24. GENE_ARCH (*Generation of Energy-Efficient Patio Houses*)

En el 2011, Caldas (18), exploró la integración de las gramáticas de forma con el sistema de Diseño Generativo GENE_ARCH. El sistema ya integraba algoritmos genéticos y un motor de simulación, pero fue mejorado del presentado por (17). Las reglas codificadas en el sistema, están en relación de: las adyacencias espaciales, las limitaciones dimensionales, las intenciones del

lenguaje y las relaciones explícitas.

Como caso de estudio para la utilización del sistema, se trabajó con un patio islámico para ser interpretado en un contexto contemporáneo, como se muestra en la Fig. 4.28, se mejoró la eficiencia energética, respetando las reglas tradicionales de las casas existentes en este contexto.

La propuesta presentada en este trabajo desempeña su función dentro de la Fase Creativa, ya que presenta una solución en el formato de un modelo en tercera dimensión.

Con GENE_ARCH, el diseñador humano determina las variables de Diseño como: dimensiones y proporciones de la casa, el patio, puertas y ventanas, etc. El sistema de manera automática se encarga de la generación de soluciones de Diseño, la evaluación del rendimiento energético del edificio, así como de una inspección visual y un análisis de las características formales.

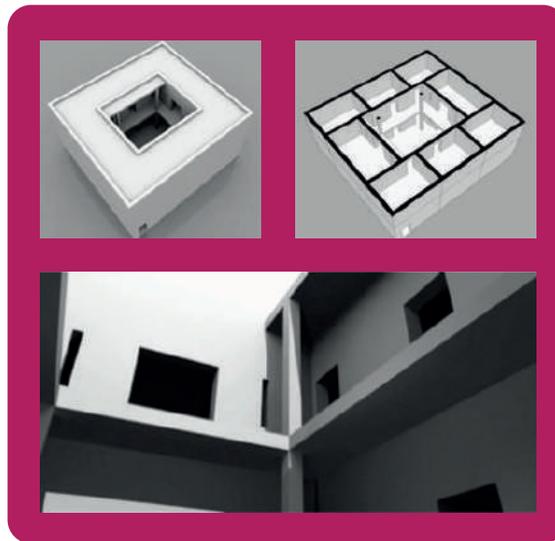


Figura 4.28: Ilustra el Diseño de un patio islámico con el sistema GENE_ARCH.

4.2.25. GRAMATICA (*A general 3D shape grammar interpreter targeting the mass customization of housing*)

En el 2012 Correira et al. (24) presentaron un interprete general de formas gramáticas tridimensionales, así como su uso específico en el diseño masivo de casas personalizadas. Los diseños son propuestos aplicando un conjunto de reglas a una forma, distintas reglas pueden ser aplicadas para obtener diferentes resultados. La intención del interprete presentado, es la de ayudar a los diseñadores en su manera de pensar, trabajar y diseñar, actuando como un puente con las formas gramáticas, el Proceso de Diseño y el Diseño Asistido por Computadora (CAD).

La aplicación de este interprete en el Diseño automático de vivienda, se dio con una serie de reglas, que divide una forma rectangular para obtener una serie de opciones de distribución en planta. En la Fig. 4.29, se muestra las distintas transiciones del proceso con la utilización de lagunas reglas.

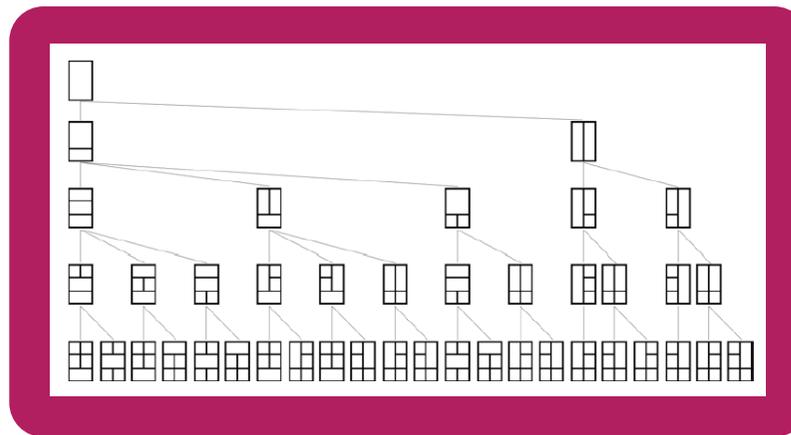


Figura 4.29: Ilustra el proceso de dos reglas en el sistema GRAMÁTICA.

Podemos definir que el sistema trabaja en la Fase Creativa, ya que éste representa y genera modelos geométricos en dos y tres dimensiones.

Para la utilización de GRAMATICA, el diseñador humano puede utilizar mecanismos específicos del sistema de reglas como etiquetas o cualidades de un elemento, por ejemplo, la ruta de extrusión de una figura geométrica o la división de un rectángulo en N número de partes. El sistema aplica las reglas seleccionadas en cada paso, después éste evalúa y determina las propuestas mas cercanas a la meta y finalmente muestra las más validas.

4.2.26. CABUILD (*Computational Intelligence Technology for the genertaion of building layouts combined with multi-agent furniture placement*)

en el 2012, Bijker (13), propuso un sistema definido, como un diseñador de edificios asistido por computadora y como sistema de IA de plataforma múltiple con el uso de Agentes Inteligentes. Tiene el objetivo de representar planos arquitectónicos amueblados en dos dimensiones.

El usuario, hace uso de las herramientas del sistema para dibujar áreas y la IA crea conexiones entre éstas. La interfaz de éste sistema, presenta herramientas para Diseñar edificios con múltiples niveles totalmente amueblados. En la Fig. 4.30 se muestra la interfaz gráfica con la distribución en planta de un edificio.

Este sistema trabaja en la Fase Ejecutiva del proceso de Diseño, ya que el algoritmo estableciendo conexiones de manera automática sobre el dibujo, trabaja apoyando en la acción de detallar un plano arquitectónico.

El sistema CABUILD no necesita del diseñador humano para que defina un conjunto de reglas, pero sí lo necesita para asignar valores, éstos pueden ser números, texto o valores de falso y verdadero. El sistema necesita ser alimentado con planos arquitectónicos para funcionar, luego de adquirir conocimiento con los planos adquiere la capacidad de hacer una generación, el sistema cuenta con una red o trama que sirve para guiar al usuario. Una planta totalmente amueblada puede ser generada en tres pasos: primero se define el perímetro, después se conectan las habitaciones y finalmente se genera el plano arquitectónico totalmente amueblado.

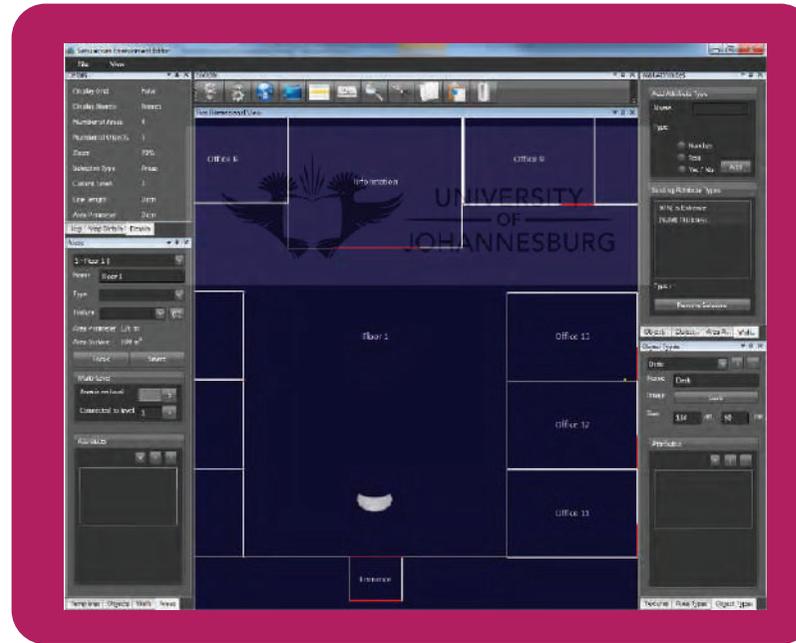


Figura 4.30: Ilustra el la interfaz gráfica de CABuild.

4.2.27. *Rocksolver CAMDAC software (Using Artificial Intelligence to Build With Unprocessed Rock)*

En el 2012, Lambert et al. (56), desarrollaron un sistema que trabaja con un método de algoritmos de búsqueda y optimización. Éste simula una estructura tridimensional en un mundo virtual, con el objetivo de optimizar el uso de la roca como material sustentable en la construcción.

El sistema es alimentado con el escaneo de rocas reales, para entonces ser simuladas de manera virtual, después son colocadas

de manera aleatoria en un contenedor virtual, el algoritmo de optimización y búsqueda es aplicado para colocar las rocas virtuales de una manera adecuada en una estructura; la salida del sistema CAMDAC puede ser usada para construir un estructura física en el mundo real, como se muestra en la Fig. 4.31.

Este sistema trabaja tanto en la Fase Analítica como en la Fase Creativa, ya que tiene la capacidad de analizar información y en la síntesis de su información presenta un modelo virtual que sirve como auxiliar para la construcción de una estructura en el mundo real, mostrando una superioridad a lo que de forma convencional podría lograrse.

Con CAMDAC, el diseñador humano debe hacer un escaneo del material. En este caso, una pila de rocas colocadas aleatoriamente para alimentar el sistema. Con la información obtenida del escaneo construye un modelo virtual de la pila de rocas real y un motor de simulación es el encargado de someter la estructura virtual a fuerzas físicas, para hacer un replanteamiento del modelo en una estructura adecuada, manipulando las rocas en los distintos ejes para su colocación en la estructura. Durante el proceso, el usuario puede modificar parámetros como el centro de gravedad de cada roca.



Figura 4.31: Ilustra una estructura virtual hecha en CAMDAC y su construcción en el mundo real.

4.2.28. BESH (*Building envelope shape design*)

En el 2013, Granadeiro et al. (41), propusieron un sistema de diseño paramétrico, para ayudar en el Diseño, para el desarrollo de las envolventes arquitectónicas en los edificios, con la utilización de gramáticas de forma. El sistema considera un cálculo de la demanda de energía y éste integra un simulador de gasto energético.

Como caso de estudio en esta propuesta, se consideró el proyecto de *praire houses* de Frank Lloyd Right, donde se aplicó un conjunto de reglas para dar forma a los espacios. El sistema puede generar modelos en tercera dimensión con valores aleatoriamente asignados, como se muestra en la Fig. 4.32, la forma de la envolvente es diferente en las nueve propuestas, éstas por ejemplo demandan diferentes cantidades de energía.

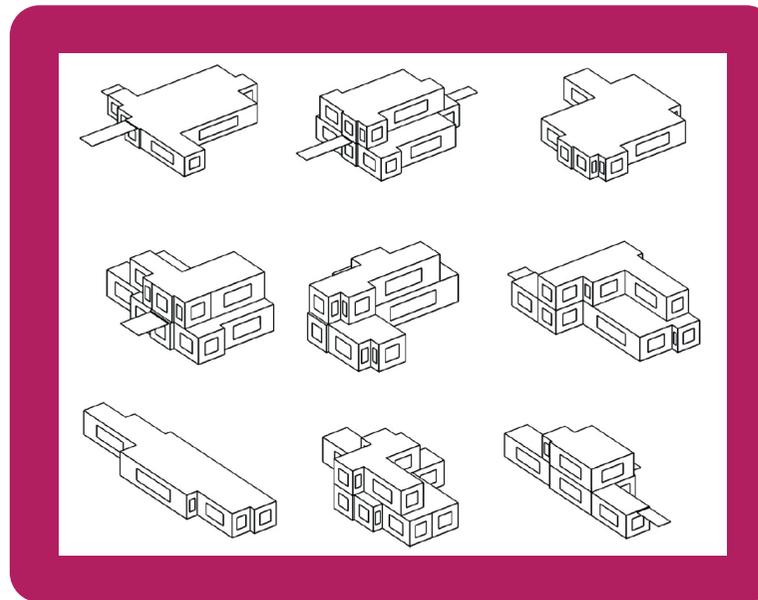


Figura 4.32: Ilustra propuestas alternativas de las "praire houses".^{en} isométrico.

La participación del sistema, según la metodología presentada en la propuesta, se sitúa dentro de la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que éste construye un modelo en tres dimensiones para la envolvente de edificios.

En el sistema BESH, el diseñador se encarga de establecer las reglas gramaticales y el sistema determina bloques de composición construidos por su gramática, esto de acuerdo con las reglas gramaticales establecidas anteriormente, que determinarán: la forma, el tamaño, la localización y la función. Con el conjunto de reglas, el sistema hace la generación de un plano arquitectónico, para después ejecutar el simulador de energía, para estimar el consumo energético del proyecto.

4.2.29. CAD/E (*Hybrid CAD/E platform supporting exploratory architectural Design*)

En el 2014, Zboinsak (122), presentó un sistema de plataforma híbrido con herramientas de Diseño e Ingeniería asistidos por computadora, en el que se puede seleccionar de manera libre la forma de trabajar, ya sea con algoritmos o con lógica difusa.

El usuario tiene la responsabilidad de realizar tareas, como la de divergir la solución del espacio o seleccionar las soluciones, además será capaz de obtener un resultado que no sería posible de manera tradicional. Podemos observar en la Fig. 4.33 un objeto arquitectónico con características, resultado del proceso híbrido.



Figura 4.33: Ilustra el Diseño de un muro con el sistema híbrido, podemos observar una geometría compleja.

El sistema proporciona una forma rápida para la generación de resultados, así como la exploración y evaluación del producto de Diseño, estas características determinarán que trabaja tanto en la Fase Analítica como en la Fase Creativa del proceso de Diseño.

CAD/E, tiene un proceso que brinca de la divergencia a la convergencia, en donde el diseñador humano prepara una escena de animación simple, hace una búsqueda en el espacio de solución y modifica las variables para controlar el vórtice, la velocidad y el orden de los elementos animados. El sistema se encarga de generar un elemento arquitectónico con la animación, en este paso el diseñador humano puede realizar otra búsqueda y hacer otros ajustes de acuerdo con su análisis visual. El sistema realiza otra generación. Este proceso puede continuar de manera iterativa o detenerse.

4.2.30. EPSAP (*Automated approach for design generation and thermal assessment of alternative floor plans*)

En el 2014, Rodrigues et al. (89), desarrollaron un prototipo para la planeación y evaluación de espacios en función del desempeño de las cualidades térmicas, con una simulación dinámica. La técnica de IA fue empleando algoritmos evolutivos con los que el sistema genera de manera automática propuestas de plantas arquitectónicas, en donde el arquitecto determina los parámetros de acuerdo con sus preferencias y deseos.

La información que el sistema proporciona ayuda a una mejor toma de decisiones para la eficiencia térmica de una habitación, ésta es representada de manera gráfica, como se muestra en la Fig. 4.34.

El sistema se desempeña en la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que presenta una síntesis de la información proporcionada por el arquitecto, al mismo tiempo por su acción de evaluar se desenvuelve en la Fase Analítica.

Con EPSAP, el diseñador humano se encarga de determinar los parámetros geométricos y topológicos de entrada que corresponden a la dimensión de los objetos, los límites del edificio, adyacencias, área, orientación, aperturas y localización. El sistema se encarga de hacer la generación automática de los planos y una evaluación térmica,

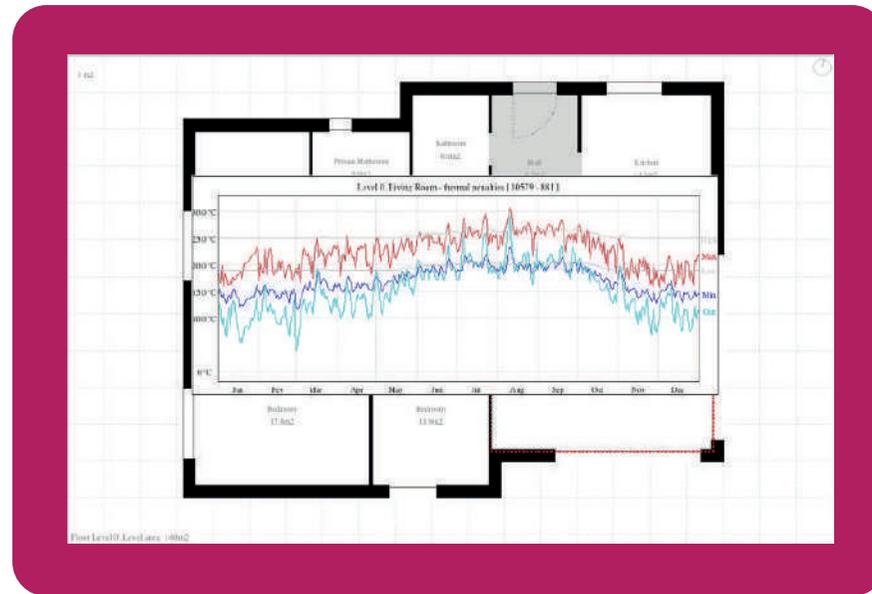


Figura 4.34: Ilustra el Diseño de un muro con el sistema híbrido, podemos observar una geometría compleja.

4.2.31. D_p.layout (*Architectural Layout Evolution Through Similarity-Based Evaluation*)

En el 2015, Sonmez et al. (107), propusieron un sistema llamado *desing_proxy.layout* (D_p.layout), desarrollado dentro del cómputo evolutivo. El sistema sirve para la evaluación y el desarrollo de plantas arquitectónicas y puede considerarse como un asistente en un proceso de Diseño convencional.

El usuario define preferencias y escenarios en la interfaz gráfica, en donde registran las características de las propuestas iniciales y donde se puede definir información contextual como: los límites del Diseño y la posición de elementos, denominados como Unidades de Diseño (UD). El sistema colabora en el proceso de Diseño arquitectónico y genera un bosquejo con una composición de elementos, como se muestra en la Fig. 4.35, para ser interpretados por el Diseñador.

La propuesta de sistema es como un auxiliar en el proceso de Diseño convencional, este proceso deja de ser convencional con el uso de la IA y se encuentra en el marco de la Fase Creativa del proceso de Diseño con la acción de bosquejar.

En el sistema Design_prox.layout, el diseñador humano tiene que asignar sus preferencias para determinar las características del problema, que puede ser definida como información contextual que son los límites del proyecto y las Unidades de Diseño que se distribuyen dentro de los límites. El sistema realiza un bosquejo del proyecto, que es utilizado posteriormente para definir el proyecto por el arquitecto.

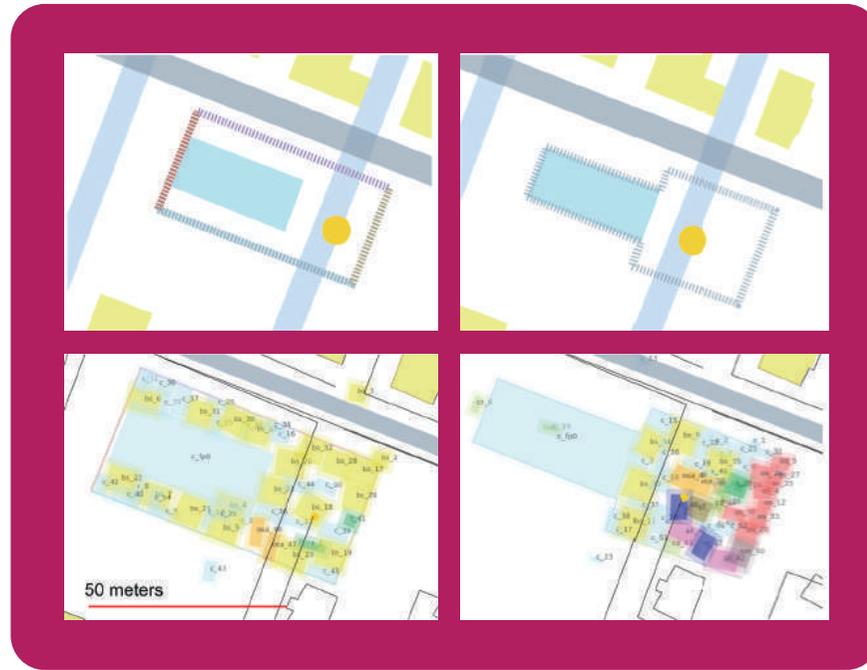


Figura 4.35: Ilustra un bosquejo realizado con el sistema *design_proxy.layout*.

4.2.32. IRRGA (*Implicit Redundant Representation Genetic Algorithm*)

En el 2016, Song et al. (102), definieron que dentro del proceso de Diseño, la etapa del Diseño conceptual es muy importante, para guiar el objetivo de los arquitectos y presentaron un sistema computacional, aplicando un Algoritmo Genético de representación redundante implícita, que es útil para explorar la formulación de problemas no estructurados, como lo es el Diseño conceptual.

El sistema, dado un conjunto de objetivos de diseño, como la simetría, la estructura y la circulación, utiliza el algoritmo para generar múltiples diseños conceptuales de edificios de departamentos que cumplen con los objetivos establecidos. Los diseños generados los presenta de forma volumétrica, como se ilustra en la Fig. 4.36.

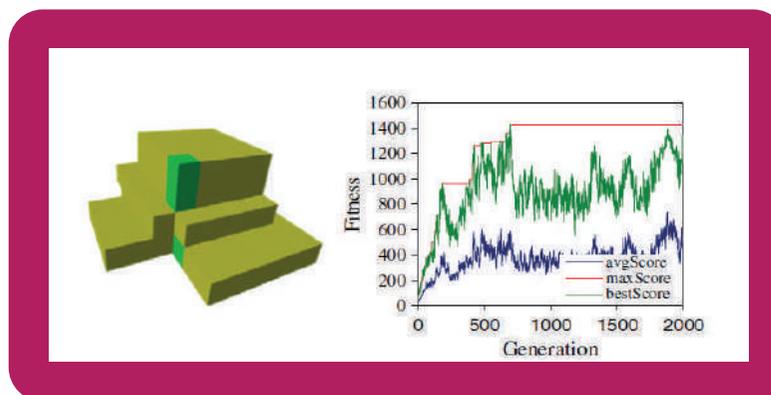


Figura 4.36: Ilustra el volumen de un edificio de departamentos producido con IRRGA.

Dentro de la propuesta de proceso que se ha desarrollado en este trabajo, IRRGA participa en la Fase Creativa del proceso de Diseño, al idear propuestas abstractas en tres dimensiones con los parámetros determinados.

Con IRRGA, el diseñador define las reglas para cumplir los objetivos de Diseño relacionados a la simetría, la estructura, la circulación y la fachada. El sistema se encarga de hacer la generación de la representación volumétrica del proyecto,

el Algoritmo Genético crea la población inicial que después esta sujeta a la función de aptitud, el sujeto más apto es la representación volumétrica. En este proceso, se podría proponer una población definida por un mayor número de parámetros, ya que los tomados en cuenta son importantes pero no suficientes.

4.2.33. ABTF (*Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system*)

En el 2016, Guo et al. (43), propusieron un método para la generación automática de modelos arquitectónicos en tercera dimensión, partiendo de un programa arquitectónico definido por un usuario. La propuesta presenta un sistema donde se aplican las técnicas de búsqueda topológica con multi-agentes, cuyo comportamiento es definido por reglas basadas en tres operaciones: 1) mover, 2) empujar, 3) intercambiar, así como un proceso de optimización evolutivo para mejorar la calidad de los modelos propuestos evaluando las salidas.

El usuario, al proponer un programa arquitectónico, alimenta al sistema, éste genera relaciones en un diagrama de burbujas y construye un modelo en tres dimensiones de acuerdo con los criterios arquitectónicos preestablecidos, como se observa en la Fig. 4.37.

La participación en la Fase Creativa del proceso de Diseño es identificada en el Proceso de Diseño de este sistema, ya que sintetiza un espacio arquitectónico en un volumen de tres dimensiones.

Con ABTF, el diseñador define las reglas que regirán el comportamiento de los agentes inteligentes, estas reglas se pueden describir como: atracción, repulsión, intercambio, compresión y también define el numero de células, un conjunto de células representa una habitación. El sistema, o sea los agentes inteligentes, generan una plantilla y la transforman en un sistema de red que después optimiza. La red generada, define una red en tres dimensiones con determinado número de células. Después de la conversión de la plantilla a red, ésta es optimizada y evaluada según su tipología, dimensión y forma. La serie de parámetros asignados a los agentes inteligentes determinan el análisis del proceso. Es interesante analizar que una red puede ser definida para la síntesis de la propuesta arquitectónica. Es importante, en algún punto del proceso de Diseño de la Arquitectura, contemplar una trama o red para organizar la morfología de un proyecto.

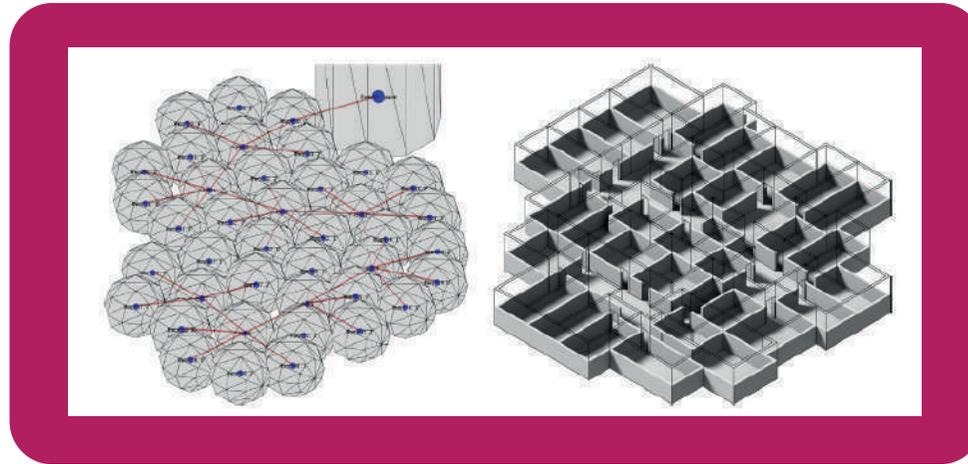


Figura 4.37: Ilustra un modelo en tres dimensiones generado con el sistema ABTF.

4.2.34. GARH (*A genetic algorithm application for automatic layout design of modular residential homes*)

En el 2016, Almeida et al. (4), presentaron un sistema de Diseño modular para casas residenciales producidas de manera masiva aplicando una técnica de Algoritmos Genéticos para la automatización de la producción de planos arquitectónicos. Las expectativas para el desarrollo de este sistema se colocaron en su interfase, con el propósito de que en la interacción con el sistema se proyectaran hogares en un lenguaje de Diseño adecuado, cumpliendo las necesidades de cada usuario, mejorando su calidad de vida.

El problema de Diseño es planteado para resolver la dimensión y posición de elementos, para ésto se propone una serie de reglas determinadas por el usuario y así de manera automática generar planos arquitectónicos. Un Diseño óptimo puede ser obtenido de acuerdo con la Fig. 4.38.

El sistema presenta una representación arquitectónica en planta de una distribución, esta salida del sistema se clasifica dentro de las acciones que se realizan en la Fase Creativa del proceso de Diseño.

En GARH el proceso es totalmente automático, el diseñador determina un conjunto de reglas, denominadas reglas de modelado como la posición de las habitaciones. El sistema genera entonces de manera automática una planta arquitectónica. En este proceso, se podría proponer una población definida por un mayor número de parámetros, ya que sólo determinar la posición de las habitaciones es importante, pero no suficientes.

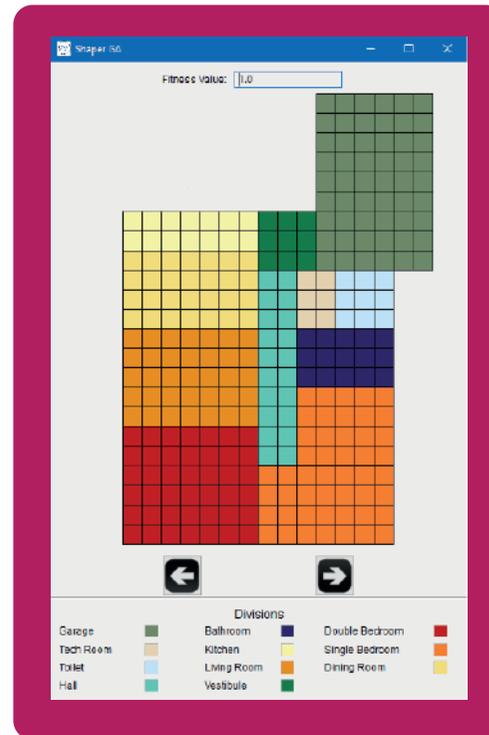


Figura 4.38: Ilustra un diseño óptimo de casa.

4.2.35. ANNAD (*Artificial Neural Networks as an Architectural Design Tool-Generating New Detail Forms Based On the Roman Corinthian Order Capital*)

En el 2017, Kacper (51), experimentó con un sistema, que utiliza técnicas de Redes Neuronales dentro del dominio del Aprendizaje Automático. La propuesta consistió en la utilización del sistema como una herramienta en el Diseño arquitectónico. El sistema fue entrenado con detalles de los capiteles de orden Corintio; con el conocimiento obtenido demostró, la capacidad de generar nuevas formas distintas a las que haría el Diseñador humano.

El sistema es capaz de imitar detalles geométricos, otorgando la posibilidad de generar nuevas formas, pero también podría ser entrenado con otro tipo de geometrías, como la de una pieza de mobiliario y hacer una generación, como se muestra en la Fig. 4.39.

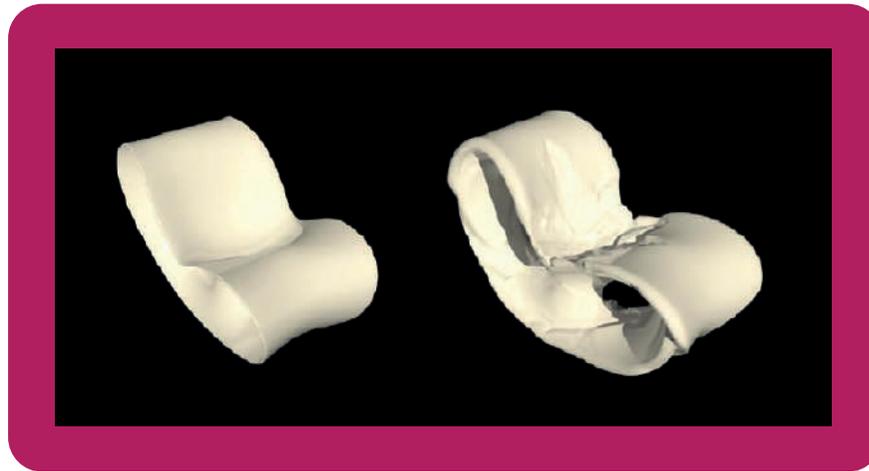


Figura 4.39: Ilustra un modelo de un sofá para el entrenamiento del sistema ANNAD y la generación del sistema.

La Fase Analítica y la Fase Creativa del proceso de Diseño, es identificada en la participación de este sistema, ya que es

alimentado por datos que recoleta durante la exploración, que después son presentados en la forma de síntesis y que podríamos atribuir en cierto grado a la Fase Creativa.

Para ANNAD el diseñador debe alimentar al sistema con volúmenes tridimensionales. El sistema aprende de estas formas para la generación de modelos con nuevas características.

4.2.36. *DreamSketch*

En el 2017, Kazi et al. (53), presentaron un sistema que combina la utilización del bosquejo a mano alzada, con algoritmos genéticos aplicados al diseño generativo. La interfase permite al usuario hacer un bosquejo para plantear un problema de Diseño, este bosquejo es utilizado por el algoritmo de diseño generativo para presentar modelos en tercera dimensión, en los cuales el usuario puede moverse en el espacio de trabajo de la interfaz e interactuar con los objetos generados; tal combinación para generar objetos al bosquejar, permite al Diseñador explorar el espacio de Diseño.

Al hacer una representación de manera visual, los diseñadores buscan comunicar sus ideas. DreamSketch presenta un interfase que mezcla el dibujo libre a mano alzada y algoritmos generativos, la Fig. 4.40 muestra la interfaz. El usuario puede explorar y tomar mejores decisiones incrementando sus capacidades creativas.

Para este sistema podemos identificar claramente su participación en la Fase Creativa del proceso de Diseño, ya que éste genera una solución óptima haciendo una combinación de las variables de Diseño.

Con el sistema *DreamSketch*, el diseñador humano desarrolla bosquejos en una interfaz digital, es decir, que los parámetros son generados de manera visual al definir el bosquejo, luego se ejecuta la generación. El sistema entonces desarrolla las propuestas de Diseño, para que luego una sea señalada por el usuario. Durante el proceso, el usuario puede hacer ajustes y ejecutar la generación de manera iterativa; finalmente, las soluciones son revisadas por el sistema y se procede con el renderizado de la propuesta. El proceso define una forma de trabajo para que el diseñador explore un modelo en tercera dimensión con el uso de bocetos digitales, el sistema es un auxiliar para esta exploración. Con la premisa de que la forma sigue a la función, el desarrollo de este sistema tiene como objetivo vincular bosquejos con la fase analítica para la generación de resultados.

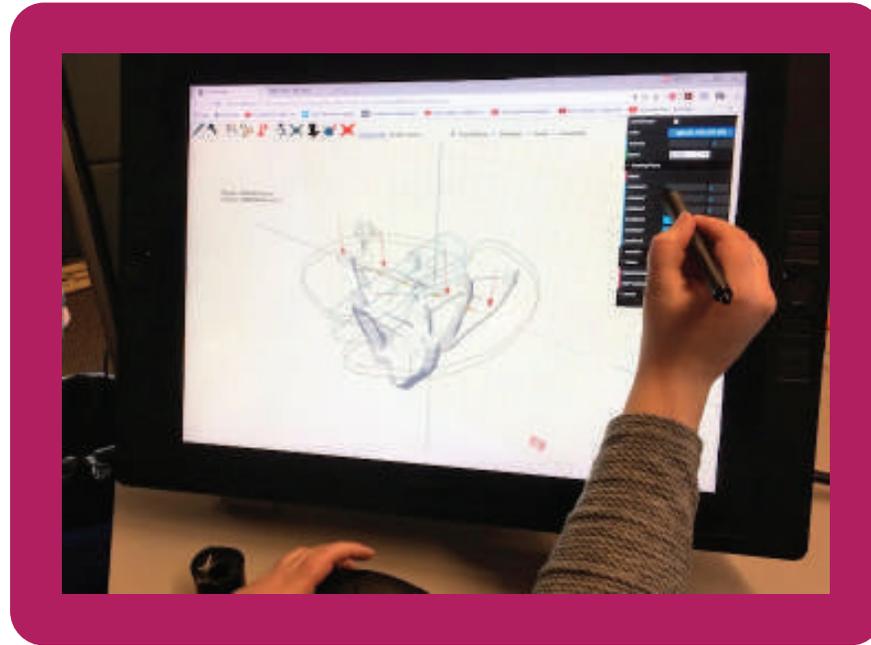


Figura 4.40: Ilustra la interfase de DreamSketch.

4.2.37. AIAGCDL (*Artificial Intelligence in Architecture: Generating conceptual Design via Deep Learning*)

En el 2018, As et al. (7), presentaron en su investigación un sistema que haciendo uso de la técnica de IA de aprendizaje automático tiene la capacidad de manipular espacios en tres dimensiones para la generación de un Diseño conceptual.

El sistema de aprendizaje automático, basado en gráficos, fue entrenado haciendo uso de redes neuronales para evaluar diseños existentes codificados como gráficos. Se exploró también en la investigación la utilización de redes adversas para la generación de Diseños únicos. La generación de espacios en dos dimensiones con el entrenamiento se puede apreciar en la Fig. 4.41.

El sistema trabaja en la Fase Analítica del proceso de Diseño, obteniendo características de edificios existentes para aplicarlas en la Fase Creativa, representando un espacio en forma conceptual.

AIAGCDL debe ser entrenado por el diseñador humano, con información sobre proyectos arquitectónicos. El sistema debe descubrir características de los proyectos y proporcionarles una puntuación, éste hace combinaciones de estas características y las representa con nodos, luego hace una búsqueda entre las conexiones de los nodos que se presentan en las combinaciones existentes y que no están en la nueva combinación, al final de este proceso se ejecuta una validación del proyecto de diseño y el sistema hace la generación del plano.



Figura 4.41: Ilustra un espacio generado en dos dimensiones por el sistema AIAGCDL.

4.2.38. SOEDAFDAM (*Style-Oriented Evolutionary Design of Architectural Forms Directed by Aesthetic Measure*)

En el 2019, Mars et al. (62), propusieron una aproximación al Diseño Arquitectónico, basándose en la combinación de tres elementos: el reconocimiento, la generación y la evaluación. Se utilizó la teoría de Biederman, para reconocer las formas geométricas denominadas geones, un algoritmo evolutivo como herramienta generativa y una evaluación de Diseño, basándose en los criterios estéticos de Birkhoff.

El sistema propone un método que puede ser aplicado a diferentes estilos arquitectónicos. En el caso de estudio presentado,

el sistema demuestra la capacidad de generar modelos en tercera dimensión, con un enfoque en el estilo Neoclásico como se muestra en la Fig. 4.42.

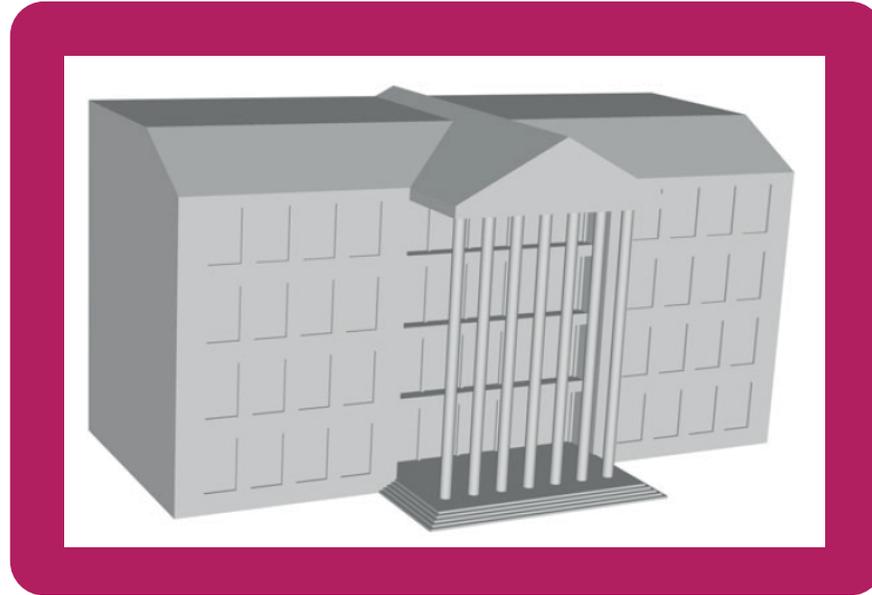


Figura 4.42: Ilustra un modelo en tercera dimensión generado con el sistema SOEDAFDAM

El sistema al proponer modelos virtuales, está participando dentro de la Fase Creativa del proceso de Diseño.

Con el sistema SOEDAFDAM, el diseñador humano debe determinar las reglas que conforman un estilo de Diseño arquitectónico. El sistema debe generar una población inicial en el estilo determinado por el usuario, luego los sujetos seleccionados son reproducidos aleatoriamente por par, cada par genera nuevos miembros, un miembro puede ser modificado por el sistema, una población es creada de los pares y miembros, el proceso puede iniciar de nuevo o finalizar en la síntesis, que es un modelo en tres dimensiones, la población es el conjunto de geones; es decir, formas simples en tercera dimensión.

4.3. Productos comerciales

El estudio, la investigación y aplicación de la IA, ha dado pauta a la creación de software para el Diseño Paramétrico de uso comercial que se pueden utilizar actualmente. En esta sección se presentan algunos de ellos.

4.3.1. Dynamo Studio

Es una aplicación desarrollada por Autodesk que funciona como una plataforma con un editor gráfico de algoritmos genéticos; es decir, programación visual (Autodesk). Es un recurso abierto que se vincula con el sistema BIM ("Building Information Modeling") Revit, dando paso al concepto de Diseño computacional, puede ser usado por ejemplo para el estudio de construcciones ecológicas.

El arquitecto hace uso de la programación visual, para hacer una parametrización de algunas características como pueden ser: altura, ancho y cantidad de ventanas, así como la orientación del edificio (108). El sistema se encarga de presentar en el modelo 3D la programación hecha por el usuario, tal como se muestra en la Fig. 4.43.

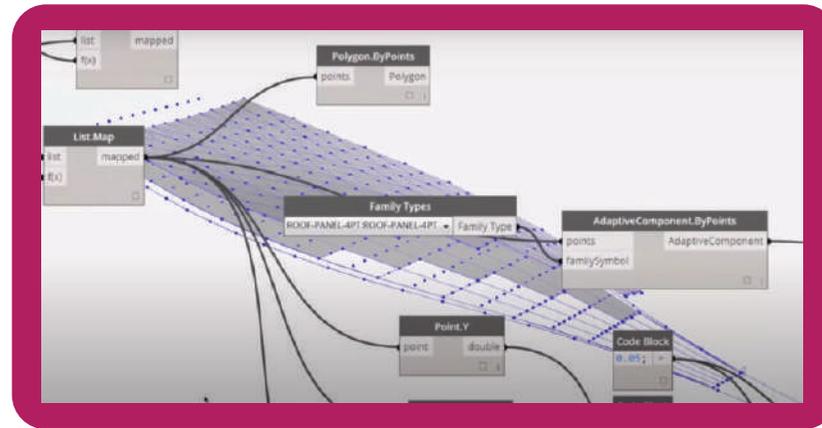


Figura 4.43: Ilustra una modelo en tercera dimensión de modelado paramétrico con el sistema Revit y la aplicación Dynamo.

El sistema muestra una síntesis visual de la programación realizada por el usuario y permite la creación de geometrías complejas que difícilmente podrían ser concebidas de otra manera, por lo tanto se atribuye la participación del sistema a la Fase Creativa del Proceso de Diseño.

4.3.2. Grasshopper

David Rutten, desarrolló la aplicación Grasshopper para el sistema CAD de modelado Rhinoceros 3D. Esta aplicación usa al igual que Dynamo, un lenguaje de programación visual. La programación es usada para desarrollar Algoritmos Genéticos para el modelado paramétrico (?).

El usuario hace uso de la programación visual para que el sistema lo sintetice en una estructura virtual de tres dimensiones, ésta puede ser construida como se muestra en la Fig. 4.44.

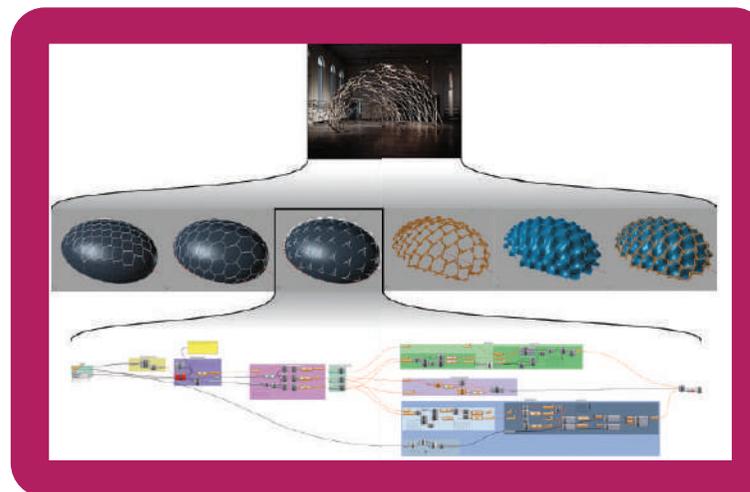


Figura 4.44: Ilustra parte del proceso para realizar el modelado paramétrico con la aplicación Grasshopper y el sistema Rhinoceros 3D.

El sistema presenta una síntesis en forma de un modelo en tres dimensiones con los parámetros programados en los Algoritmos Genéticos, por esta razón se considera que trabaja en la Fase Creativa del Proceso de Diseño.

4.3.3. Fusion 360

Es otro sistema desarrollado por Autodesk, el cual integra el Diseño paramétrico y por consecuencia algoritmos generativos en sus características, permitiendo la exploración de ideas de una manera rápida y efectiva (G. Verma).

El usuario puede crear o importar una geometría, escoger la forma el tamaño y el perfil de los elementos. La parametrización permite incluso la modificación de los materiales en las superficies. El sistema se encarga de modificar la estructura en el modelo (83), tal como se muestra en la Fig. 4.45.

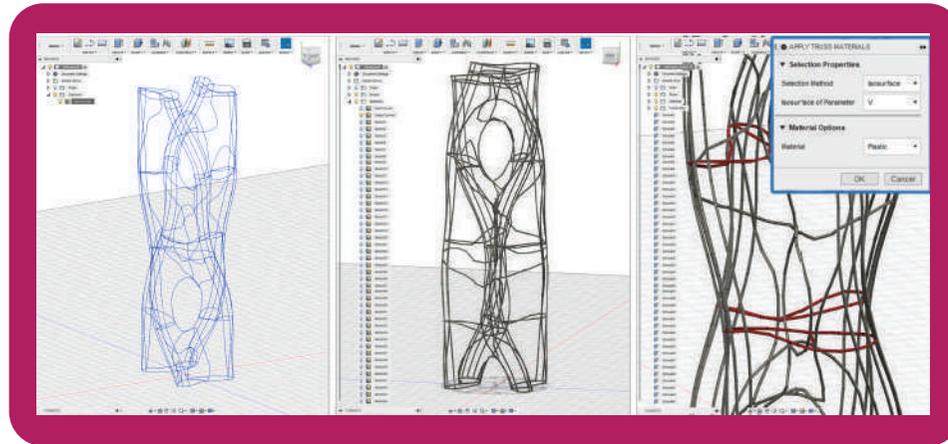


Figura 4.45: Ilustra un modelo importado y su proceso de modificación paramétrico con el sistema Fusion 360.

La participación del sistema se clasifica en la Fase Analítica y en Creativa del proceso de Diseño, debido a que éste permite la exploración de alternativas y además presenta una estructura virtual en tres dimensiones, como síntesis de los parámetros modificados por el usuario.

4.4. Discusión

Se ha analizado en este capítulo, la participación de los sistemas en el dominio del Diseño Arquitectónico, tanto desde el punto de vista de Diseño propuesto en esta investigación, como de las técnicas de IA usadas. 33 de los sistemas tienen la responsabilidad de actuar en la Fase Creativa, 6 en la Fase Analítica y 5 en la Fase Ejecutiva, como se muestra en la Fig. 4.46.

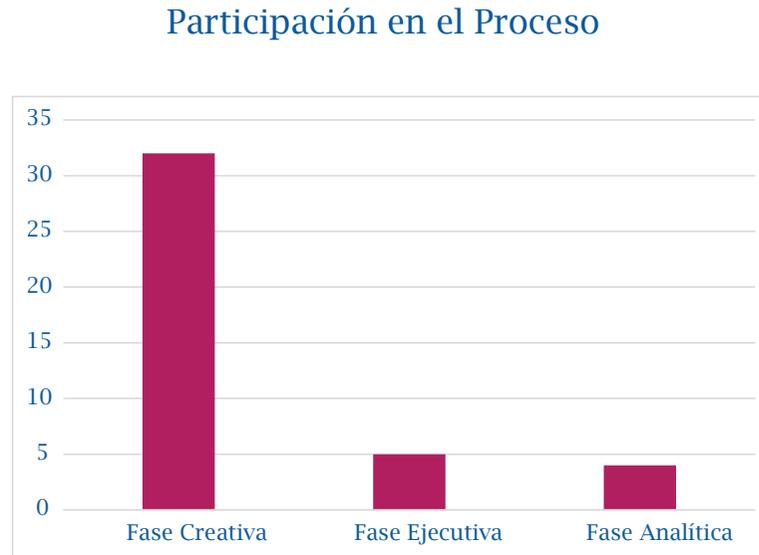


Figura 4.46: Ilustra la participación de los sistemas en el Proceso de Diseño.

En la Fase Analítica, la acción realizada con mayor frecuencia por los sistemas, es la de explorar, como se ilustra en la Fig. 4.47. Por ejemplo, cuando un sistema aprende de formas por sí mismo para después generar nuevas o en la aplicación de simulaciones para buscar la manera de presentar un mejor acomodo en una estructura virtual.

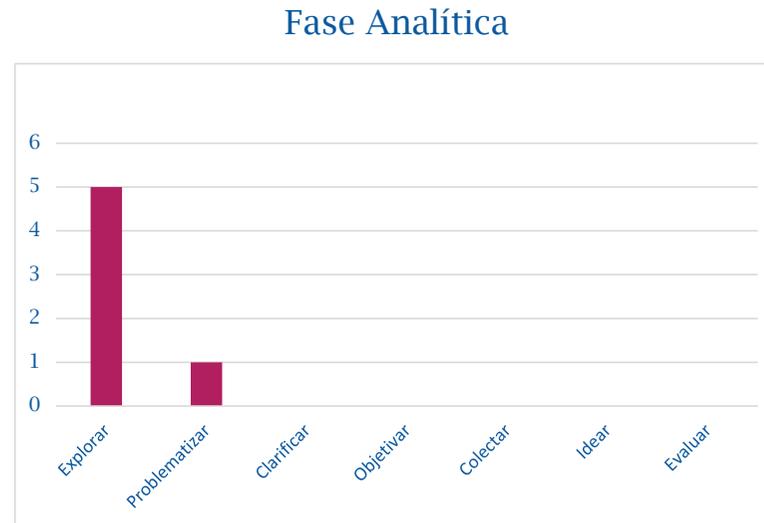


Figura 4.47: Ilustra la frecuencia de las acciones realizadas por los sistemas en la fase Analítica.

En la Fase Creativa, la participación de los sistemas predomina la acción de generar, como se muestra en la Fig. 4.48. Por ejemplo, cuando el diseñador humano alimenta una serie de variables y parámetros y el sistema de manera automática se encarga de hacer la generación de volúmenes arquitectónicos y formas novedosas. Le siguen las actividades de sintetizar e idear, las cuales llevan a cabo, por ejemplo para asistir a la exploración y creatividad en el dominio de las formas o la personalización de las propuestas arquitectónicas. La actividad en la que menos participan los sistemas en esta fase es la de conceptualizar, siendo únicamente 3 sistemas los que participan en ésta, por ejemplo como inspiración para las y los arquitectos en la etapa conceptual o como apoyo en la forma de trabajar y pensar de las y los diseñadores.

Fase Creativa

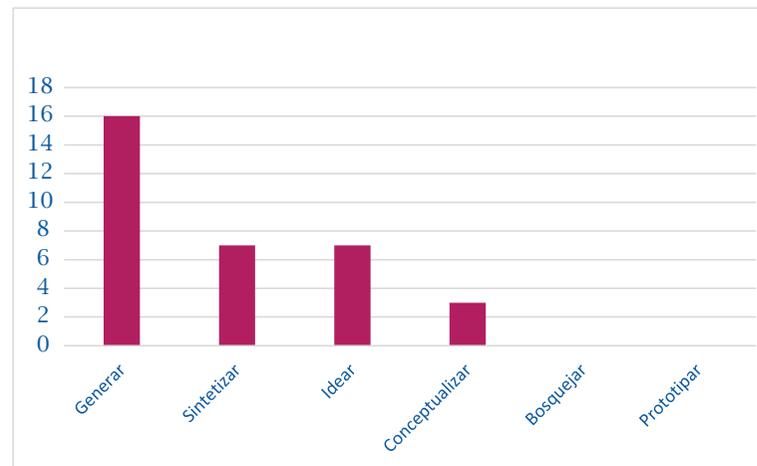


Figura 4.48: Ilustra la frecuencia de las acciones realizadas por los sistemas en la Fase Creativa.

En la Fase Ejecutiva, predomina la participación de los sistemas en la actividad de detallar como se muestra en la Fig. 4.49. Por ejemplo, cuando el diseñador humano alimenta por medio de bosquejos, el sistema de manera automática se encarga de analizar los dibujos y hacer una propuesta más formal o representar planos completamente amueblados.

Fase Ejecutiva

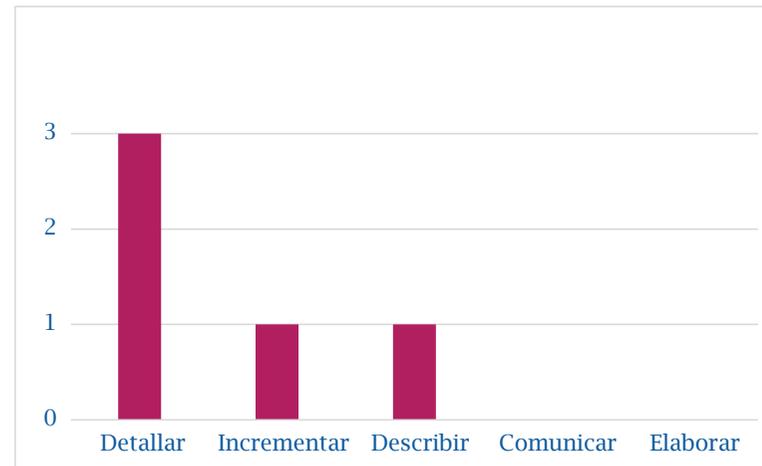


Figura 4.49: Ilustra la frecuencia de las acciones realizadas por los sistemas en la Fase Ejecutiva.

Este análisis sugiere que los sistemas computacionales inteligentes en el dominio del Diseño Arquitectónico, se han enfocado en participar en la Fase Creativa, existiendo menor participación en las Fases Ejecutiva y Analítica. Esto revela un área de oportunidad; es decir, sería interesante e importante crear sistemas que participen en estas dos fases que han sido menos exploradas.

Por otro lado, los métodos de IA identificados en la revisión (ver Fig. 4.50) de cada uno de los sistemas varía, concluyendo que el método más utilizado es el que emplea Algoritmos Genéticos.

Métodos de IA

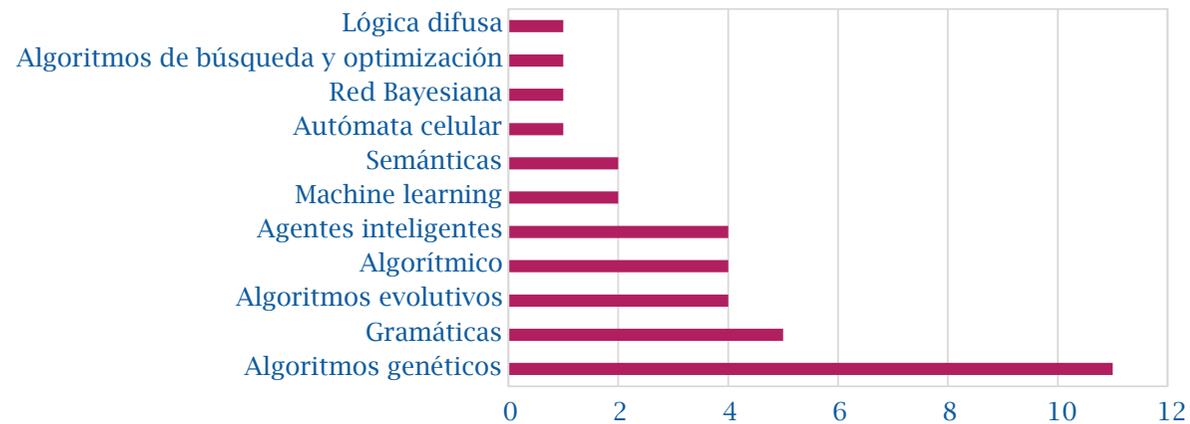


Figura 4.50: Ilustra los métodos de IA usados en los sistemas computacionales analizados.

Se puede observar también que los Algoritmos Genéticos tienen la participación más activa en la Fase Creativa del Proceso de Diseño, tal como se muestra en la Fig. 4.51). Éstos algoritmos son los que participan en los sistemas comerciales analizados, Dynamo, Grasshoper y Fusion 360.

| | Lógica Difusa | Algoritmos de Búsqueda y Optimización | Algoritmos Evolutivos | Red Bayesiana | Autómata Celular | Semánticas | Algoritmos Genéticos | Gramáticas | Agentes Inteligentes | Algorítmico | Algoritmos de combinación de grafos | Algoritmos basados en grados | Redes Neuronales | Aprendizaje Automático |
|-----------------------|---------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------|------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------|
| Fase Analítica | | | | | | | | | | | | | | |
| Problematizar | | | | | | | | | | | | | | |
| Calificar | | ● | | | | | | | | | | | | |
| Objetivar | | | | | | | | | | | | | | ● |
| Explorar | ● | ● | ● | | | | ● | | ● | ● | | | ● | |
| Colectar | | | | | | | | | | | | | | |
| Idear | | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluar | ● | | ● | | | | | | | ● | | | | |
| Fase Creativa | | | | | | | | | | | | | | |
| Generar | | ● | ● | ● | | ● | ● | ● | | | | ● | | |
| Conceptualizar | | ● | ● | | | | ● | ● | | | | | | ● |
| Bosquejar | ● | | ● | | | ● | ● | ● | | ● | | | | |
| Idear | | | | | | | ● | | ● | | | | | |
| Prototipar | | | | | | | | | | | | | | |
| Sintetizar | | | ● | | ● | ● | ● | ● | ● | | | | ● | |
| Fase Ejecutiva | | | | | | | | | | | | | | |
| Detallar | | | | | | | ● | ● | ● | | ● | | | |
| Incrementar | | | | | | | ● | | | | | | | |
| Describir | | | | | | | | ● | | | | | | |
| Comunicar | | | | | | | ● | | | | | | | |
| Elaborar | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 4.51: Ilustra la relación entre el proceso de Diseño y los algoritmos empleados en los sistemas analizados que emplean IA.

Definitivamente las cualidades creativas consideran aspectos complejos para ser modelados en las técnicas de IA, sin embargo podemos atribuir el predominio de la IA en la Fase Creativa por los resultados obtenidos; por ejemplo, las salidas de los sistemas como la síntesis de geometrías complejas o las opciones múltiples en propuestas de planos arquitectónicos.

En cuestión de la complejidad que se menciona para desarrollar la Fase Creativa, conceptualizar se considera como una de las actividades principales para el desarrollo de un proyecto, pues contendrá la esencia de éste. Los sistemas que participan en esta actividad van sujetos al criterio del dominio para dar validez al discurso de Diseño, por esta razón se han considerado sólo unos pocos sistemas en esta categoría. De tal manera que generar un gran número de geometrías o volúmenes no siempre da validez a un discurso de Diseño coherente, pues la base del Diseño siempre pretende dar una respuesta a un contexto específico.

Aunque los sistemas existentes tienen la capacidad de resolver parte de la Fase Creativa en un proyecto, y se han usado en propuestas reales, no son del todo aceptados ni usados en la práctica de la Arquitectura.

La Fase Analítica tiene de la misma manera una complejidad, ya que es la base de la Fase Creativa y la Fase Ejecutiva considera una gran cantidad de información que debe ser desarrollada por la experiencia del dominio al que corresponde, es decir al dominio de la Arquitectura. Es por eso que creo, que para desarrollar sistemas que participen en distintas Fases, primero debemos ser conscientes de éstas. Una de las formas, es el desarrollo de investigaciones que nos permiten darnos cuenta de lo que sucede con este tipo de sistemas inteligentes, después es importante la participación de los dominios involucrados como los son la IA y el Diseño. Cada Fase tiene una dificultad considerable para ser modelada computacionalmente y el tipo de actividades que se pueden incluir en los sistemas futuros será guiado por las necesidades de los usuarios, algunos problemas en el Diseño Arquitectónico, que son actividades como: recolección de datos, exploración de análogos y homólogos, propuesta de detalles o análisis de costos.

Los retos que se pueden presentar para las propuestas de sistemas inteligentes, son proporcionales al nivel de conocimiento de los interesados en su desarrollo. Por ejemplo, la selección e implementación de la o las técnicas de IA que pueden ser utilizadas en las diferentes acciones de las Fases, también se debe considerar y determinar el nivel de intervención tanto del usuario como el de la IA en cada acción del Proceso de Diseño.

Aunque las técnicas de IA seguirán madurando, existe la posibilidad de aplicar las existentes en las partes menos exploradas del Proceso de Diseño y como hemos comprobado, existe una gran exploración en el desarrollo de prototipos con el uso de la IA en el proceso de Diseño, perteneciente al dominio de la Arquitectura. Al final la principal dificultad de la aplicación de estas propuestas, concierne directamente a la educación y a la relación entre los seres humanos y la arquitectura.

Arquitectura H+

Derivado de la identificación de nichos de oportunidad en el desarrollo de sistemas inteligentes, en este capítulo se presenta la propuesta teórica de un sistema inteligente, capaz de colaborar con arquitectos humanos en el desarrollo de proyectos arquitectónicos. El sistema fue nombrado AH+ (Arquitectura Transhumana), ya que está enfocado en el Diseño Arquitectónico y considerando el uso de la IA, se ha determinado que podría trascender a las capacidades humanas promedio en el desarrollo de propuestas de Diseño (ver Fig. 5.1).

El proceso de Diseño es complejo y hemos presentado hasta ahora un análisis de éste desde distintas perspectivas, abstrayendo sus tres Fases principales: la **Fase Analítica**, la **Fase Creativa** y la **Fase Ejecutiva**. Determinando una serie de acciones que se pueden realizar en cada una de éstas. El sistema propuesto, vincula una acción de Diseño con una acción específica relacionada al Diseño en la arquitectura.

La interfaz del sistema, es la abstracción del análisis de los procesos de Diseño (ver Fig. 5.2), en donde cada Fase presenta una serie de actividades, que pueden ser seleccionadas según la información recabada para el proyecto; por ejemplo, se puede seleccionar la opción "problema", para desarrollar el problema de Diseño. Determinados botones de la interfaz permanecen bloqueados hasta que se cuenta con información para continuar en el proceso. La descripción de cada acción se describe a continuación.

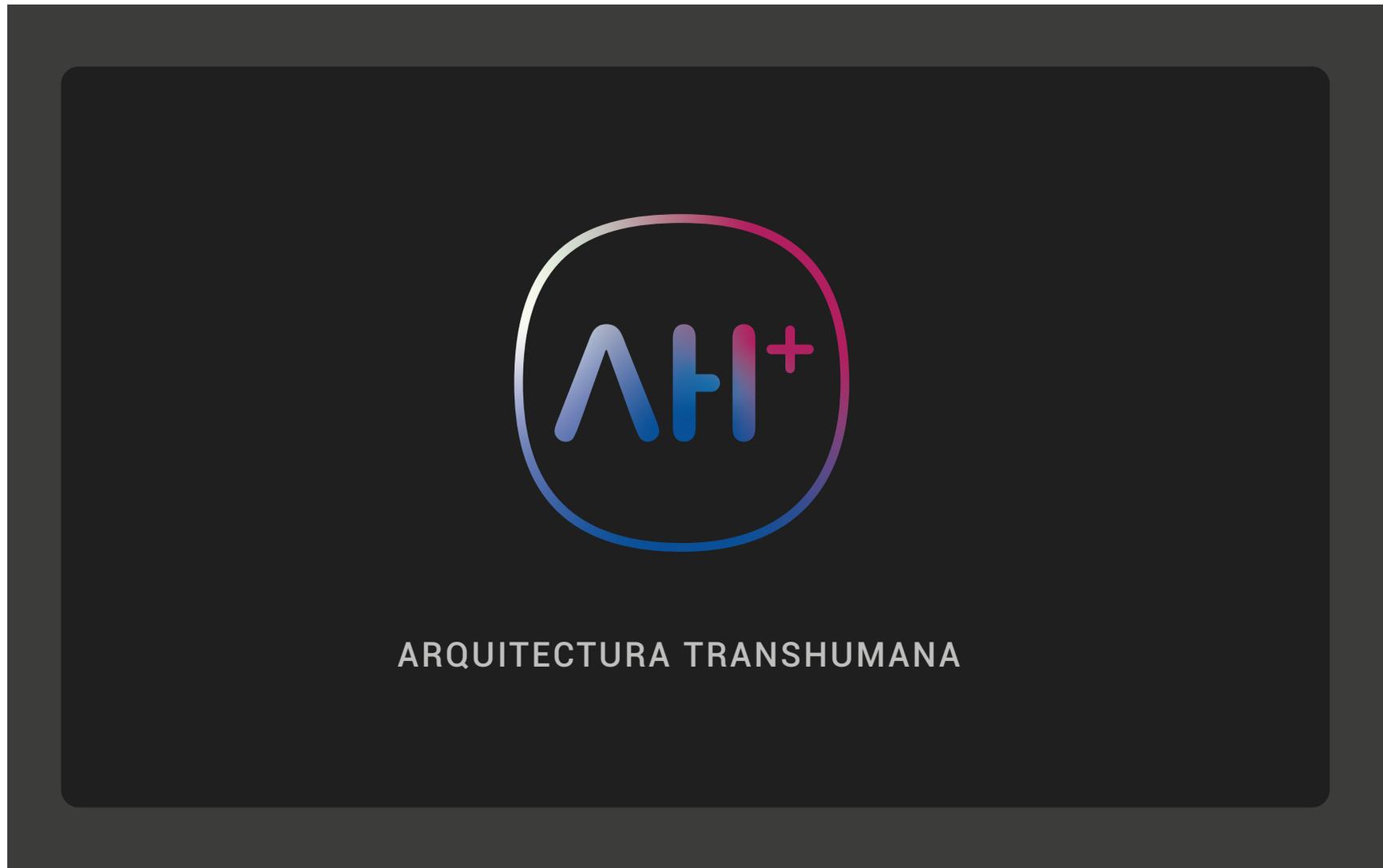


Figura 5.1: Imagen de inicio de la interfaz del sistema AH+.

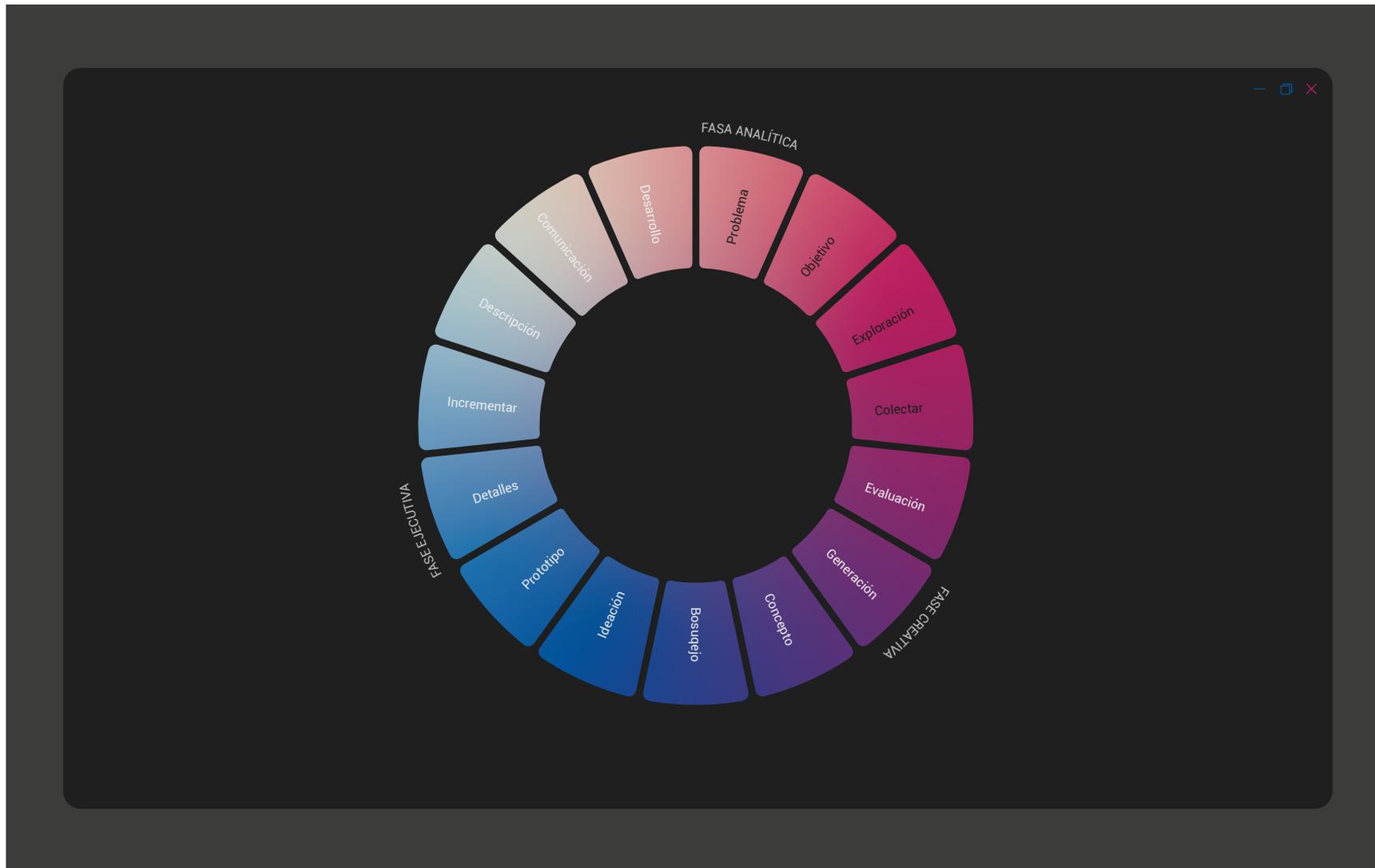


Figura 5.2: Interfaz gráfica del sistema AH+, abstracción del proceso de Diseño.

El planteamiento del problema de Diseño, es el punto de partida de nuestro proceso, tenemos entonces que en el botón de problema (ver Fig. 5.3), se entabla una conversación con la IA, en búsqueda de definir el problema de Diseño arquitectónico; ya sea de manera escrita, por medio de imágenes o por medio de una conversación. (ver Fig. 5.4)

Los objetivos son una de las mejores maneras en que podemos medir el progreso y la calidad de un proyecto. En objetivo (ver Fig. 5.5), se establecen las metas que se desean lograr durante el proceso, éstas son establecidas con el análisis del problema por parte de la IA, ya que en este análisis se establecen intrínsecamente. La arquitecta o el arquitecto entonces puede añadir o eliminar objetivos, en concordancia con el problema; cada objetivo es vinculado a su progreso según la información que es generada en el proceso, es importante determinar una fecha de vencimiento para colocar alertas que ayuden tanto al humano como a la IA a lograr los objetivos (ver Fig. 5.6).

La exploración consiste en analizar los proyectos que se han realizado con características similares o incluso con características potenciales que se pueden incluir en el proyecto. El botón de exploración (ver Fig. 5.7) está vinculado al problema de Diseño; el humano y la IA hacen una búsqueda de características que ya se tomaron en cuenta en otros proyectos. La búsqueda puede estar vinculada a proyectos realizados por otros autores y cuya información pueda ser utilizada de manera legal. (ver Fig. 5.8)

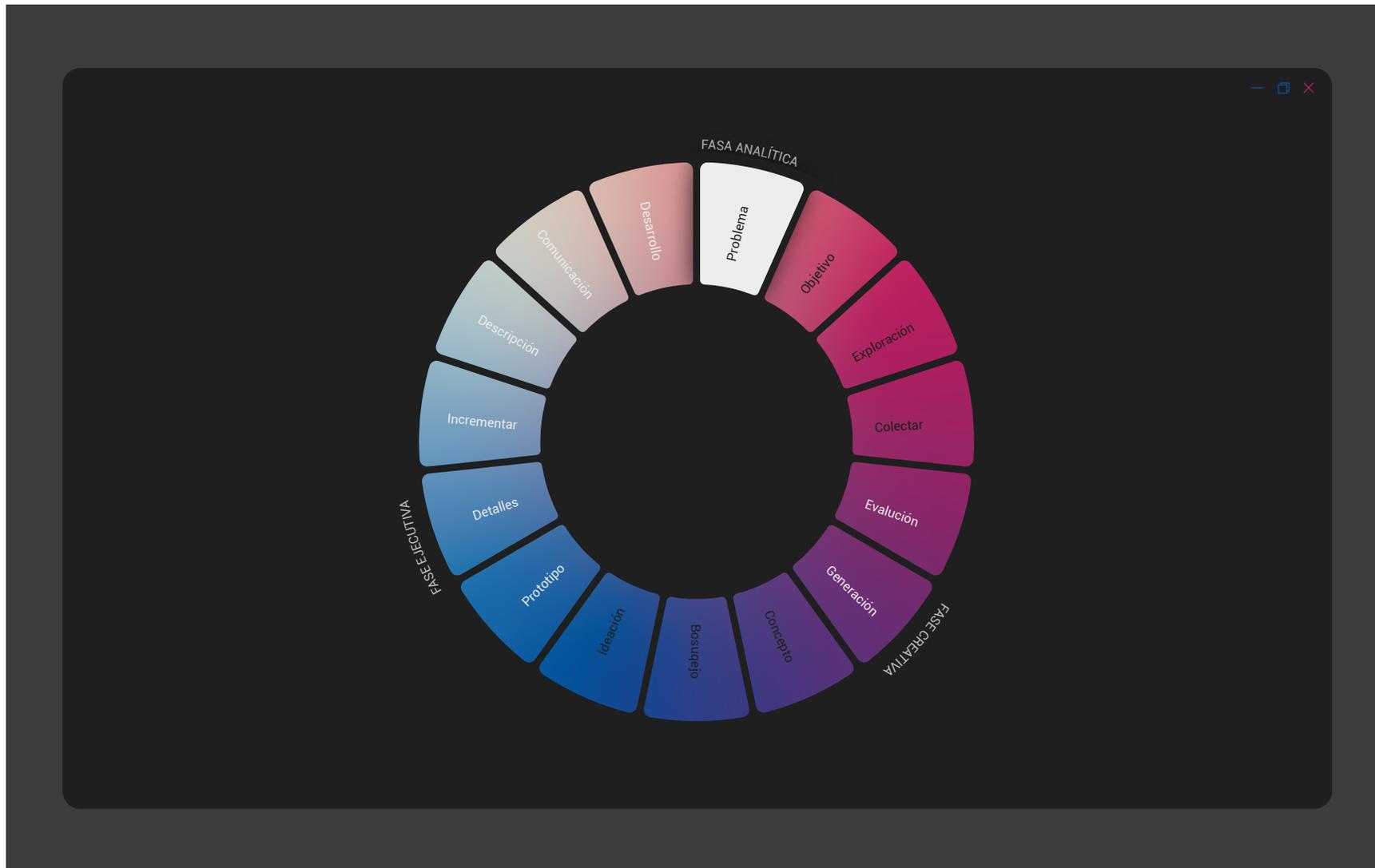


Figura 5.3: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, definición del problema.

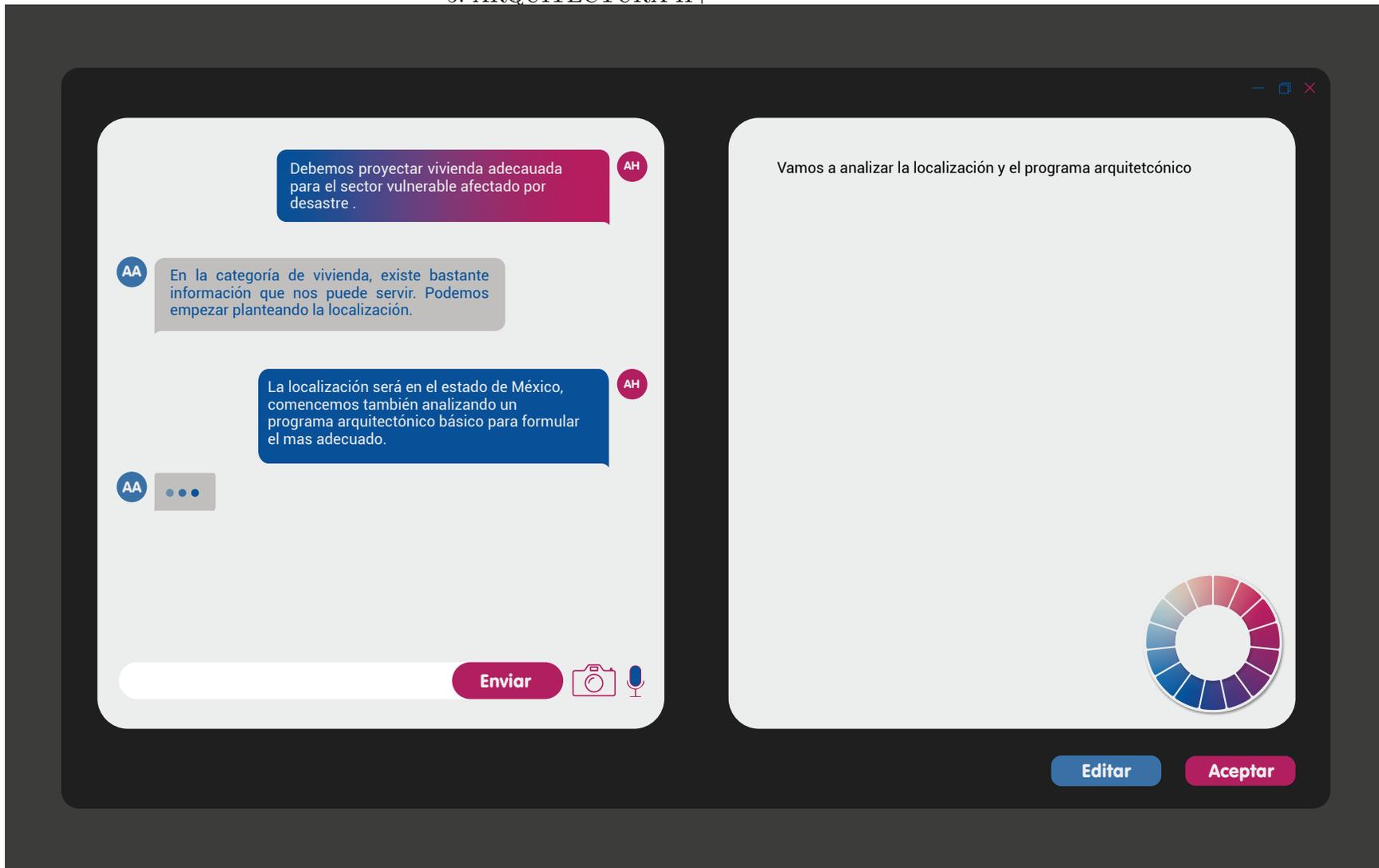


Figura 5.4: Interfaz gráfica del sistema AH+ interacción en conversación con la IA. Se usa el término AH para indicar el texto introducido por el arquitecto humano y el término AA para el introducido por el sistema.

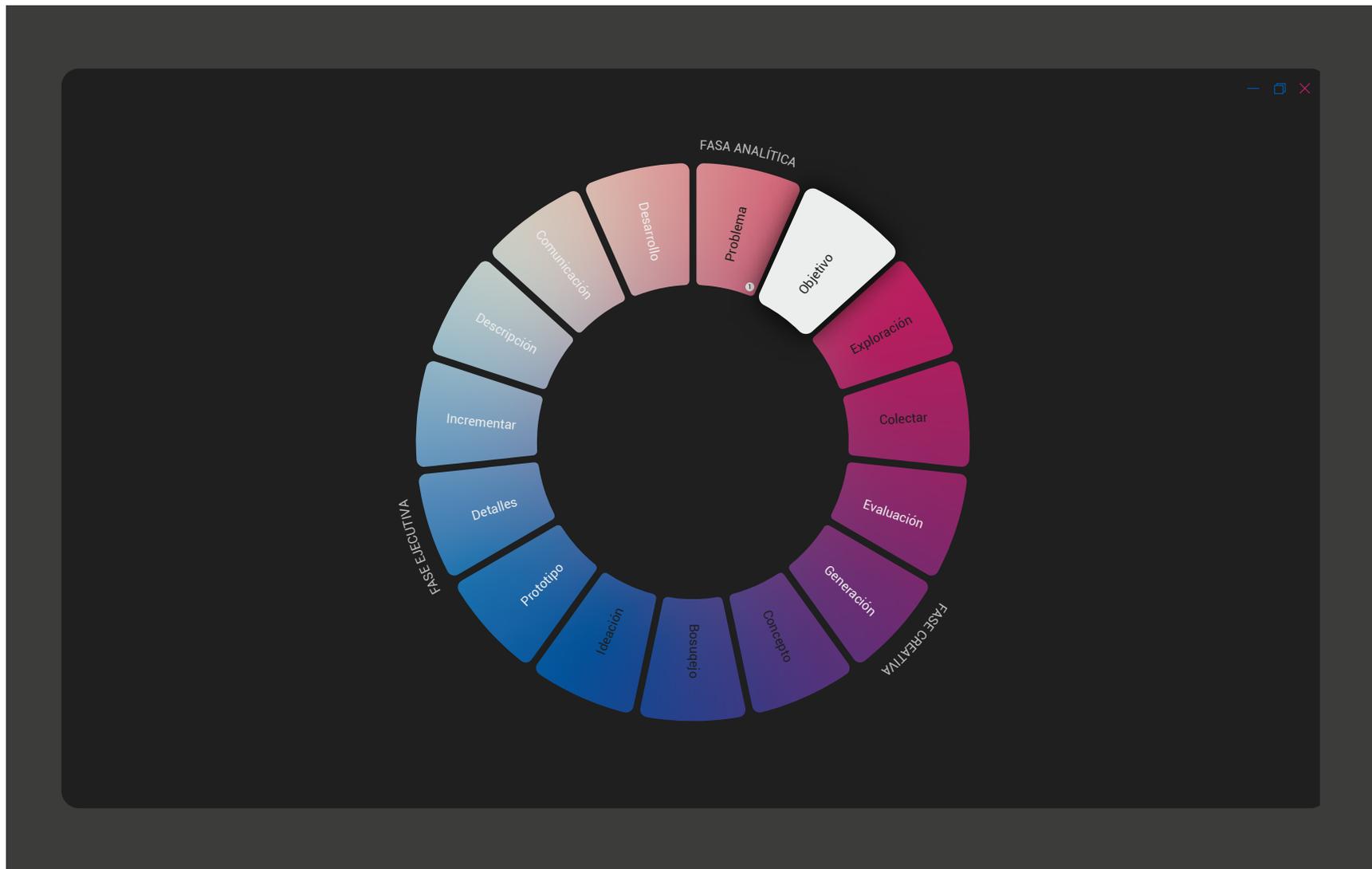


Figura 5.5: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, definición de objetivos.

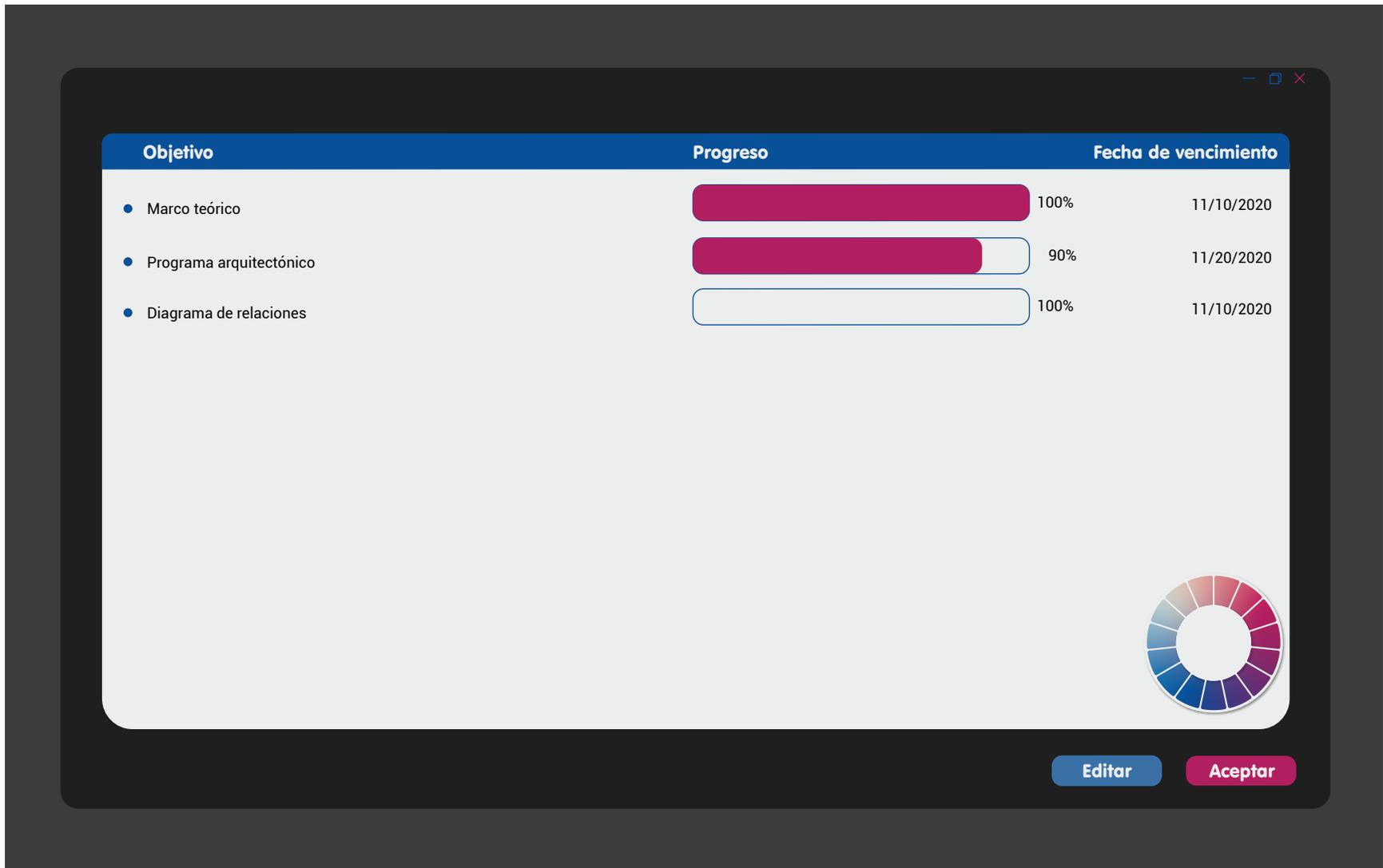


Figura 5.6: Interfaz gráfica del sistema AH+ definición de objetivos.

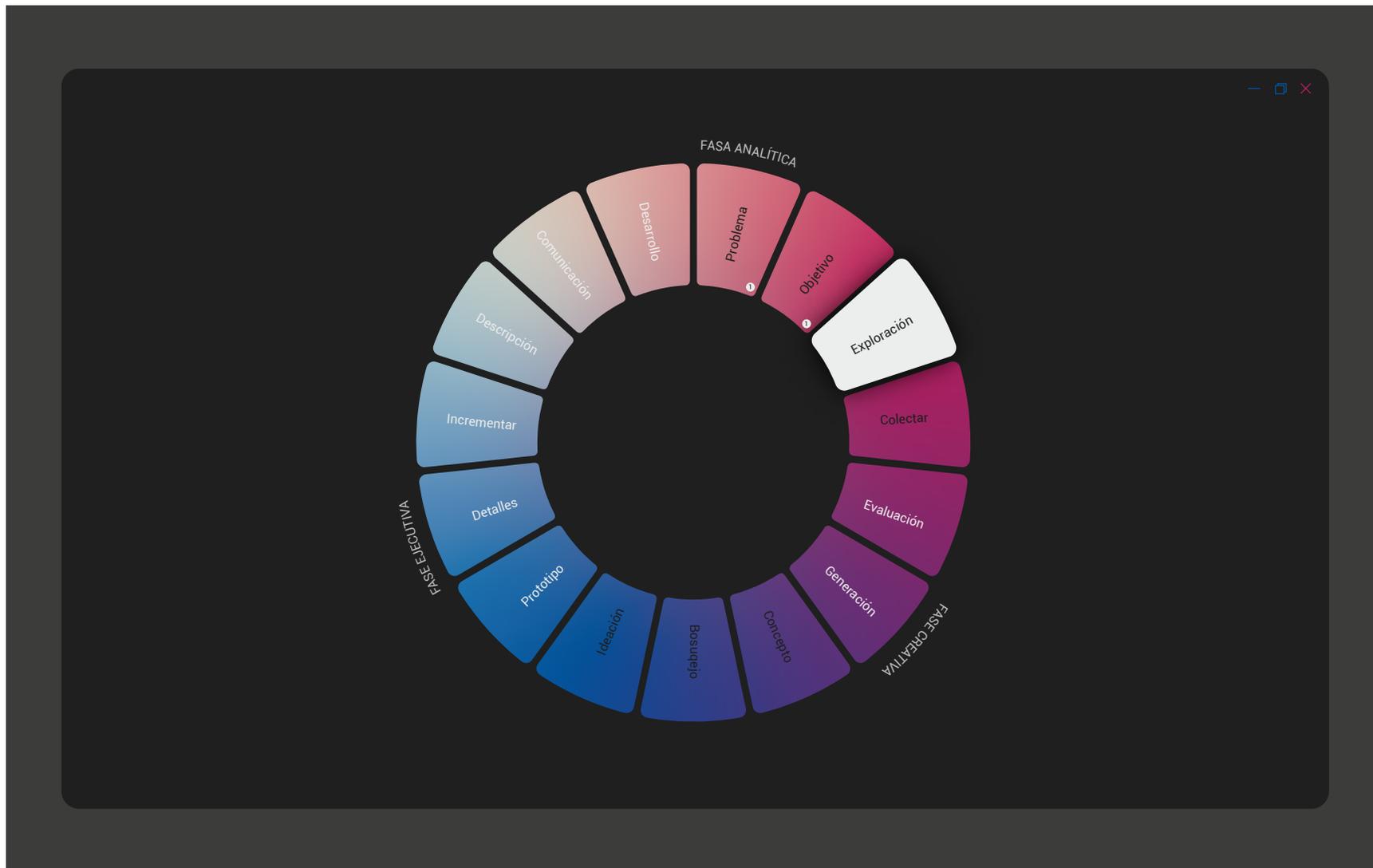


Figura 5.7: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, exploración.

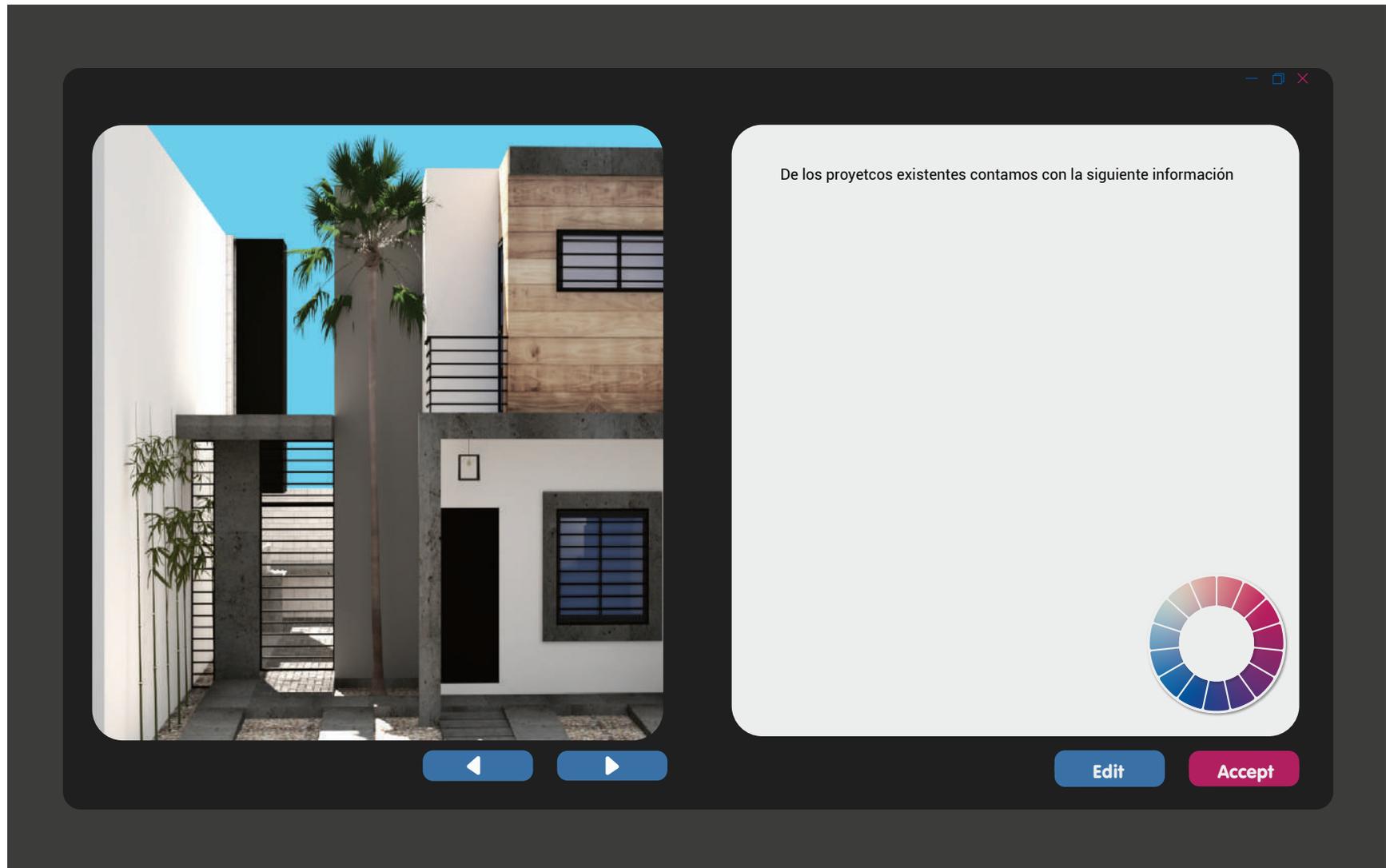


Figura 5.8: Interfaz gráfica del sistema AH+, exploración de casos.

La colección de datos de manera adecuada es importante dentro de la realización de un proyecto. La función de coleccionar (ver Fig. 5.9) ayuda a organizar por categorías los archivos que se crean durante el proceso; nuevos archivos pueden ser creados desde aquí, dependiendo de la necesidad del proyecto. También existe la posibilidad de alimentar a la IA con archivos fuera del sistema, por ejemplo tenemos una variedad de archivos de dibujo o presupuestos éstos pueden ser añadidos al sistema. (ver Fig. 5.10).

La evaluación de las etapas, así como de las acciones y sus productos, es también de suma importancia. En evaluación (ver Fig. 5.11) se generan las categorías acordes con los productos de cada acción del proceso y se determina el desempeño, por ejemplo, de una distribución arquitectónica, tomando en cuenta características acertadas en relación con la teoría de la arquitectura, como: luz natural, circulación, dimensiones, etc. (ver Fig. 5.12).

La generación es uno de los primeros acercamientos visuales al producto que desea realizarse y este término se conecta muchas veces a la automatización. En generación (ver Fig. 5.13) se crean los diagramas que darán forma a la morfología y elementos de la obra arquitectónica; la arquitecta o el arquitecto y la IA, trabajan para formar diagramas, con la información recabada hasta el momento (ver Fig. 5.14).

Conceptualizar define la forma, materiales y colores de una obra arquitectónica. En concepto (ver Fig. 5.15) se puede trabajar de diferentes maneras, una de ellas es el desarrollo de formas que definirán los elementos principales del proyecto arquitectónico. En desarrollo, la IA y el humano siguen la construcción (ver Fig. 5.16).

Bosquejar es una manera de proyectar la volumetría deseada de una obra arquitectónica. En bosquejo (ver Fig. 5.17), la arquitecta o el arquitecto y la IA, trabajan para dibujar, por ejemplo, una perspectiva del proyecto, en esta acción puede utilizarse una superficie de trabajo digital, para realizar la tarea como se haría de forma manual. (ver Fig. 5.18).

La idealización se refiere a la forma ideal, ésta se encuentra vinculada a su función. En idealizar (ver Fig. 5.19) se trabaja en la distribución de los espacios en dos y tres dimensiones; la arquitecta o el arquitecto trabajan en conjunto con la IA para desarrollar esta etapa. (ver Fig. 5.20).

Realizar un prototipo, es la manera en que podemos hacer una prueba preliminar de lo que será nuestro producto. En prototipar (ver Fig. 5.21) la arquitecta o arquitecto y la IA, desarrollan un modelo virtual del proyecto arquitectónico, con esta acción se sugiere establecer simulaciones que puedan ampliar el problema de Diseño (ver Fig. 5.21 5.22).

Los detalles son producto de la acción de profundizar acerca de la composición de los elementos. Detallar (ver Fig. 5.23) es determinar la forma en que vamos a construir la obra arquitectónica; la arquitecta o el arquitecto y la IA, determinan los

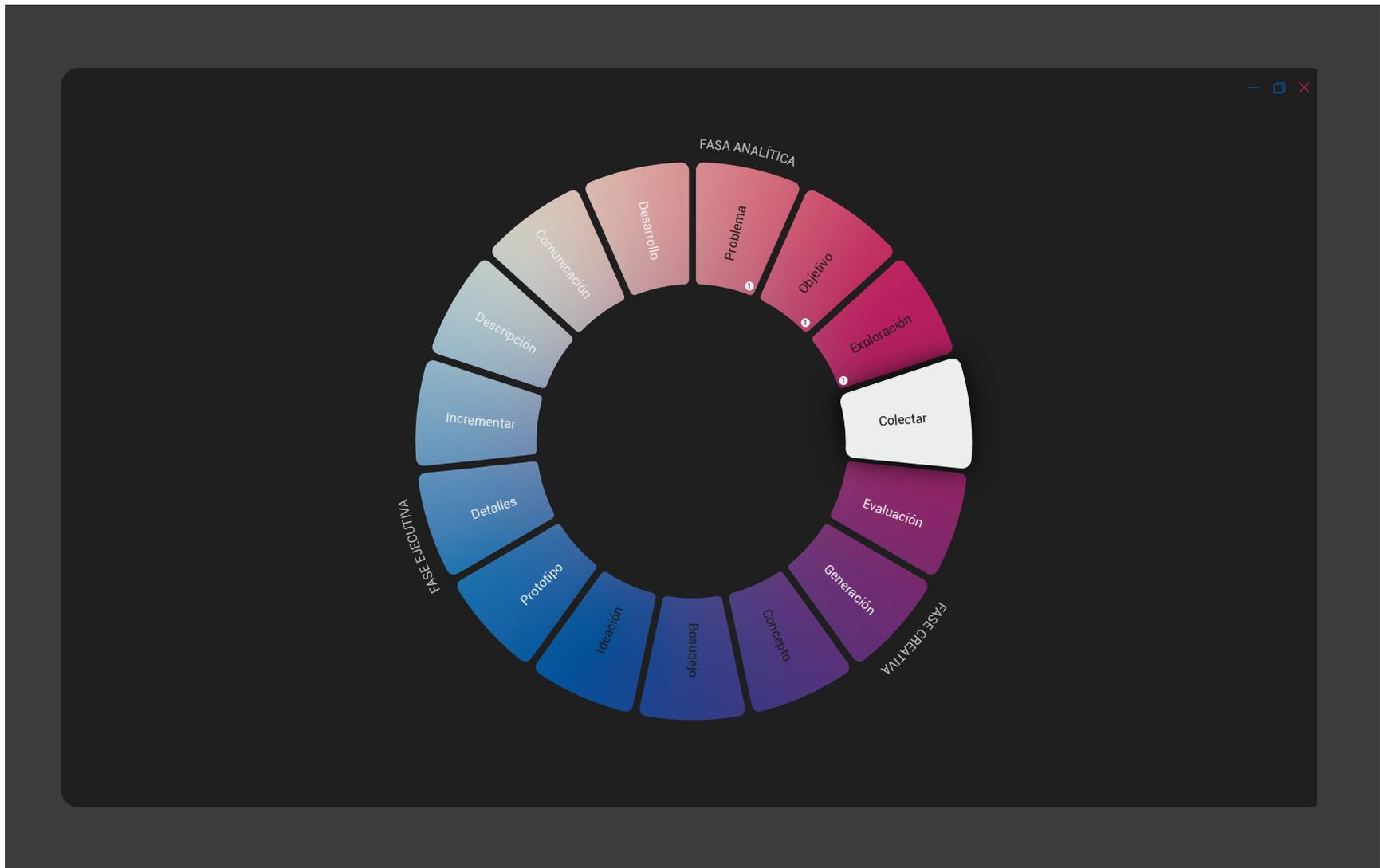


Figura 5.9: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal colectar.

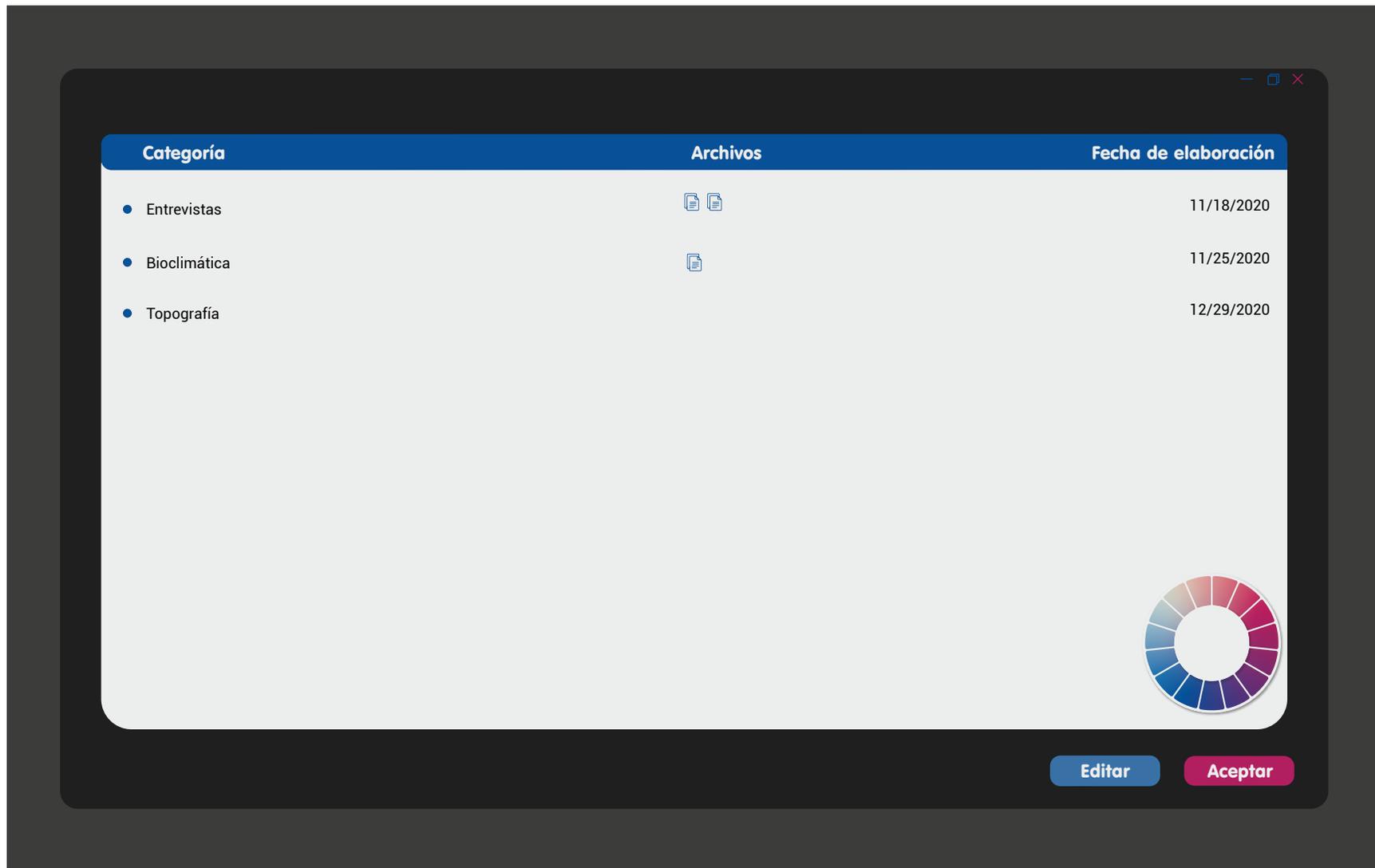


Figura 5.10: Interfaz gráfica del sistema AH+, colección de datos.

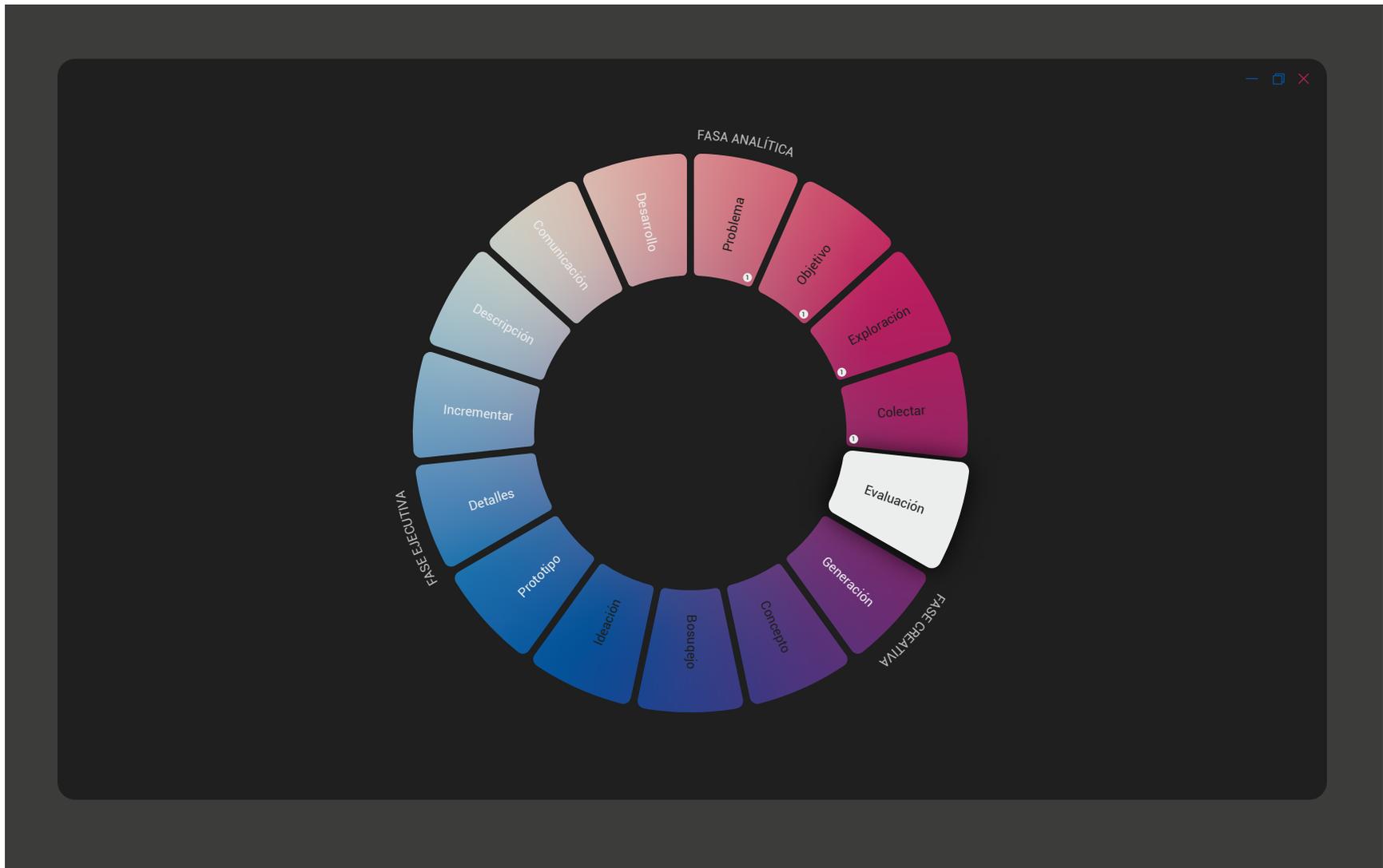


Figura 5.11: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, evaluación.

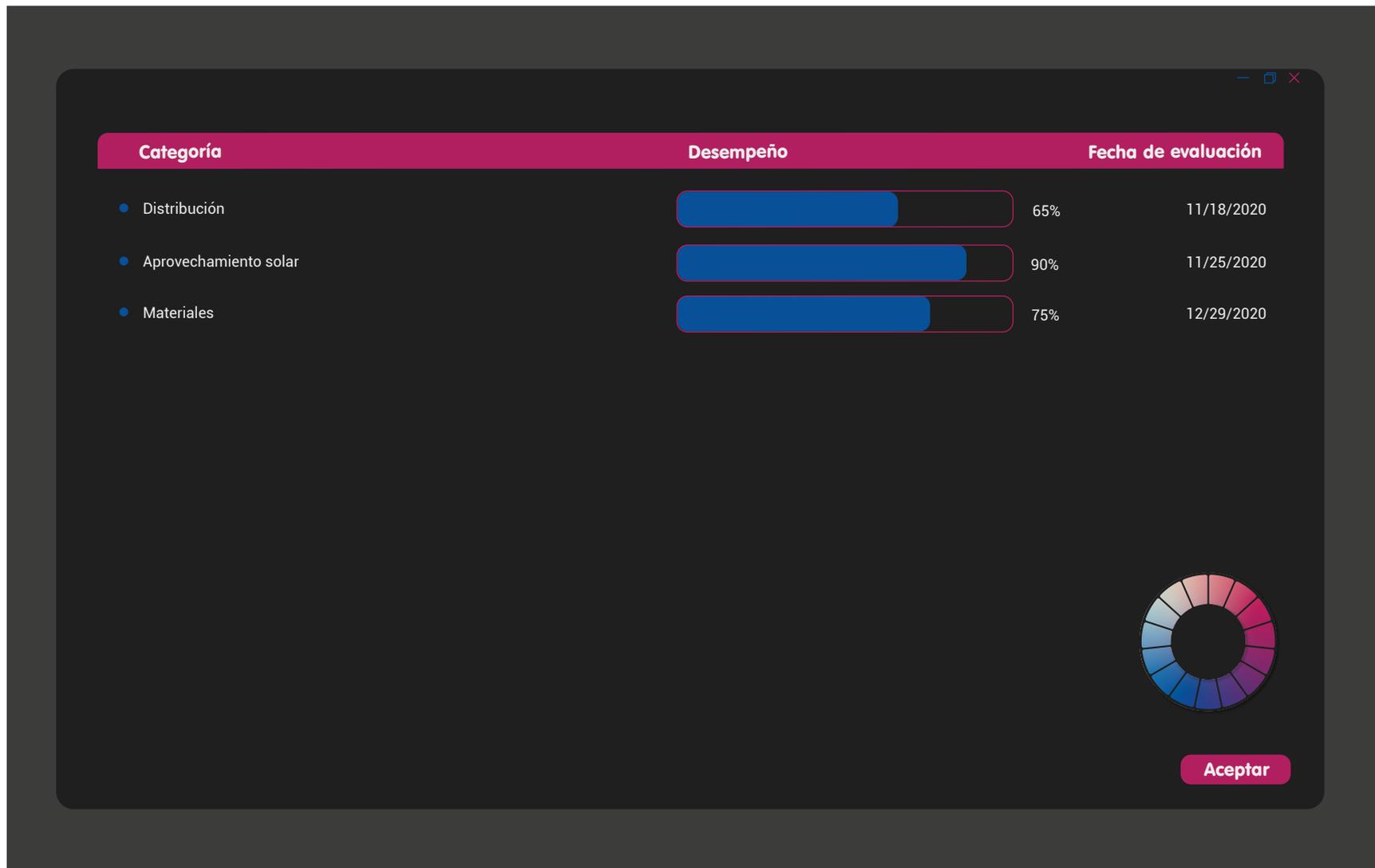


Figura 5.12: Interfaz gráfica del sistema AH+, evaluación de desempeño de actividades.

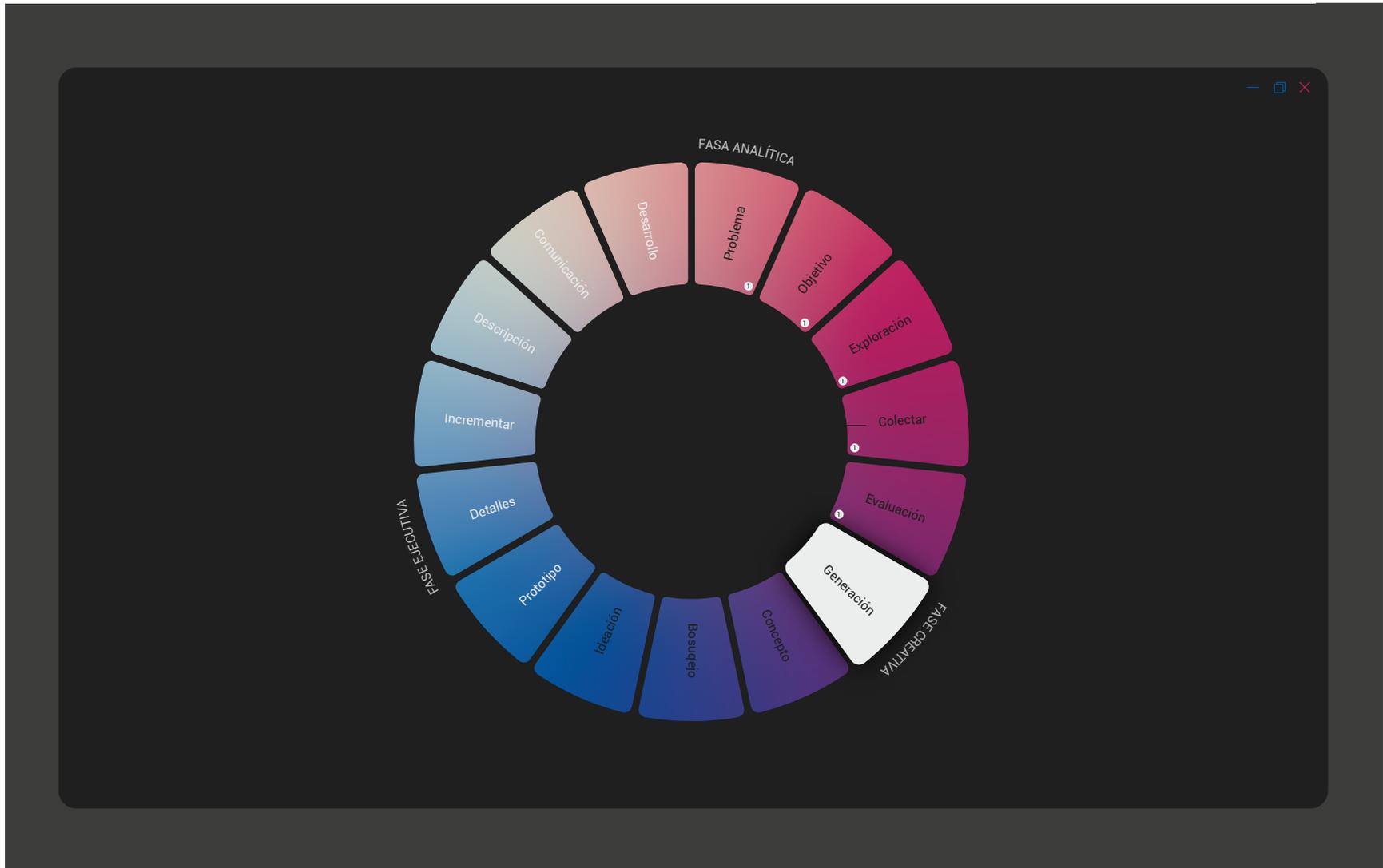


Figura 5.13: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, generación.

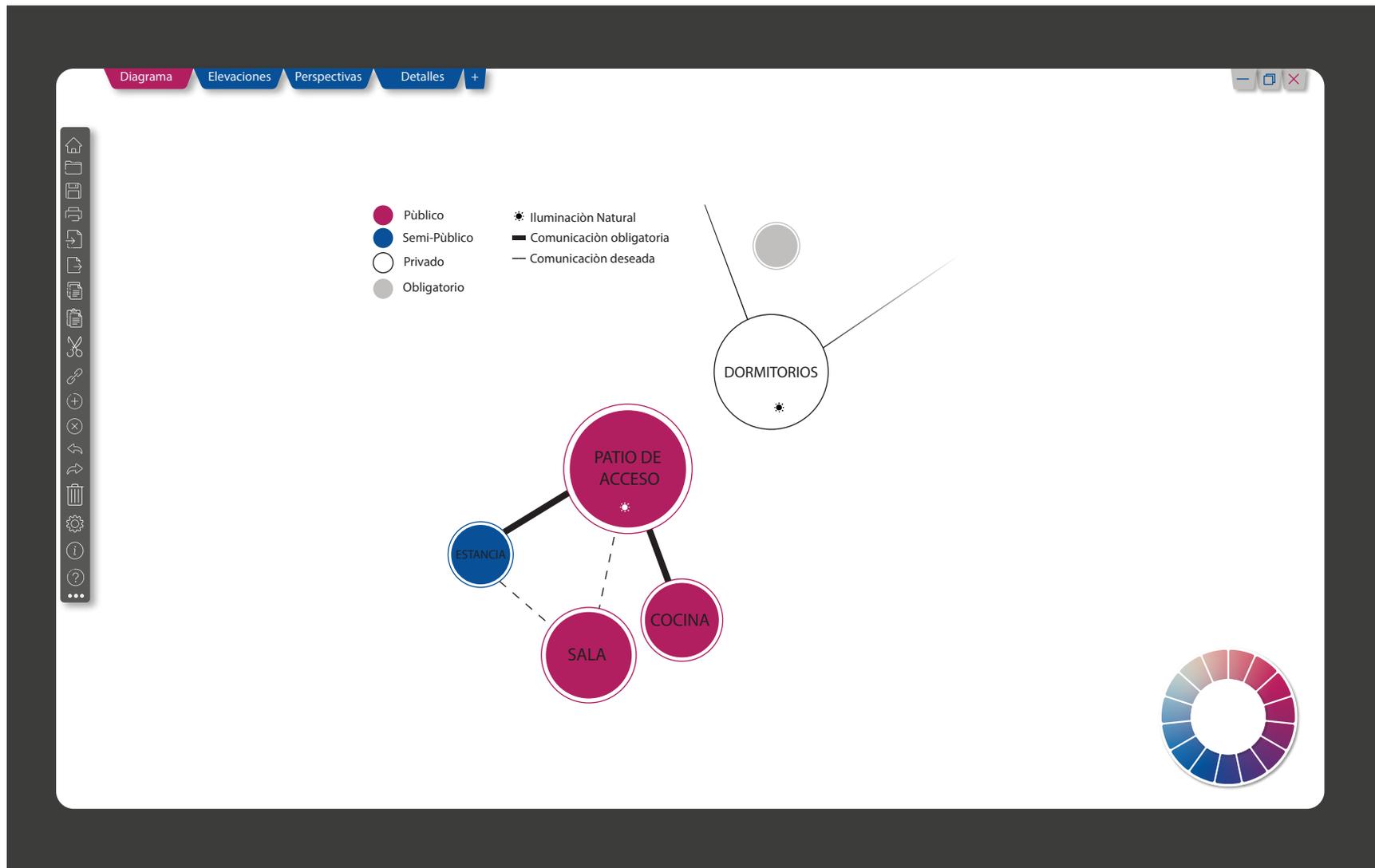


Figura 5.14: Interfaz gráfica del sistema AH+, generación de diagramas arquitectónicos.

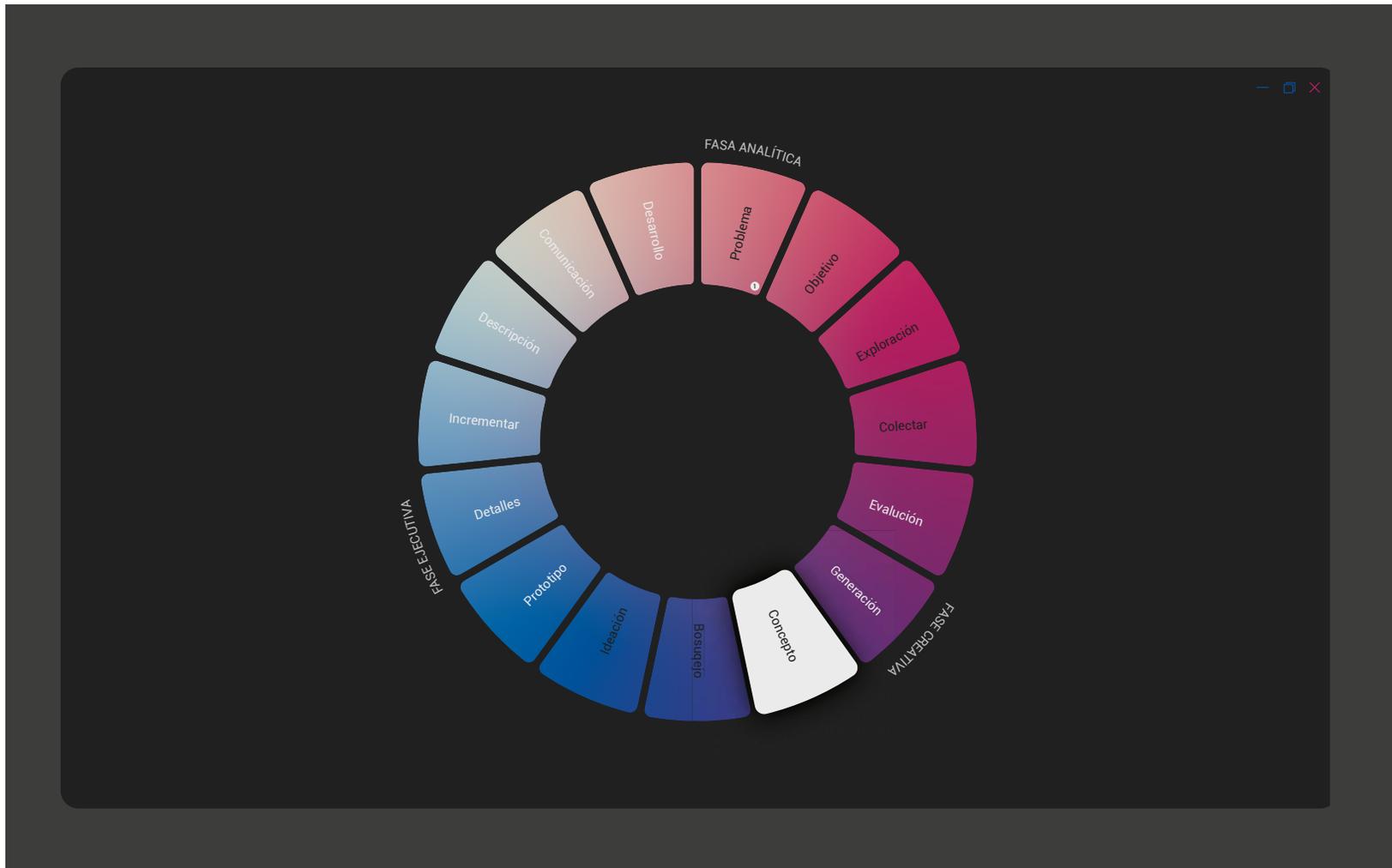


Figura 5.15: Interfaz gráfica del sistema AH+, generación de diagramas arquitectónicos.

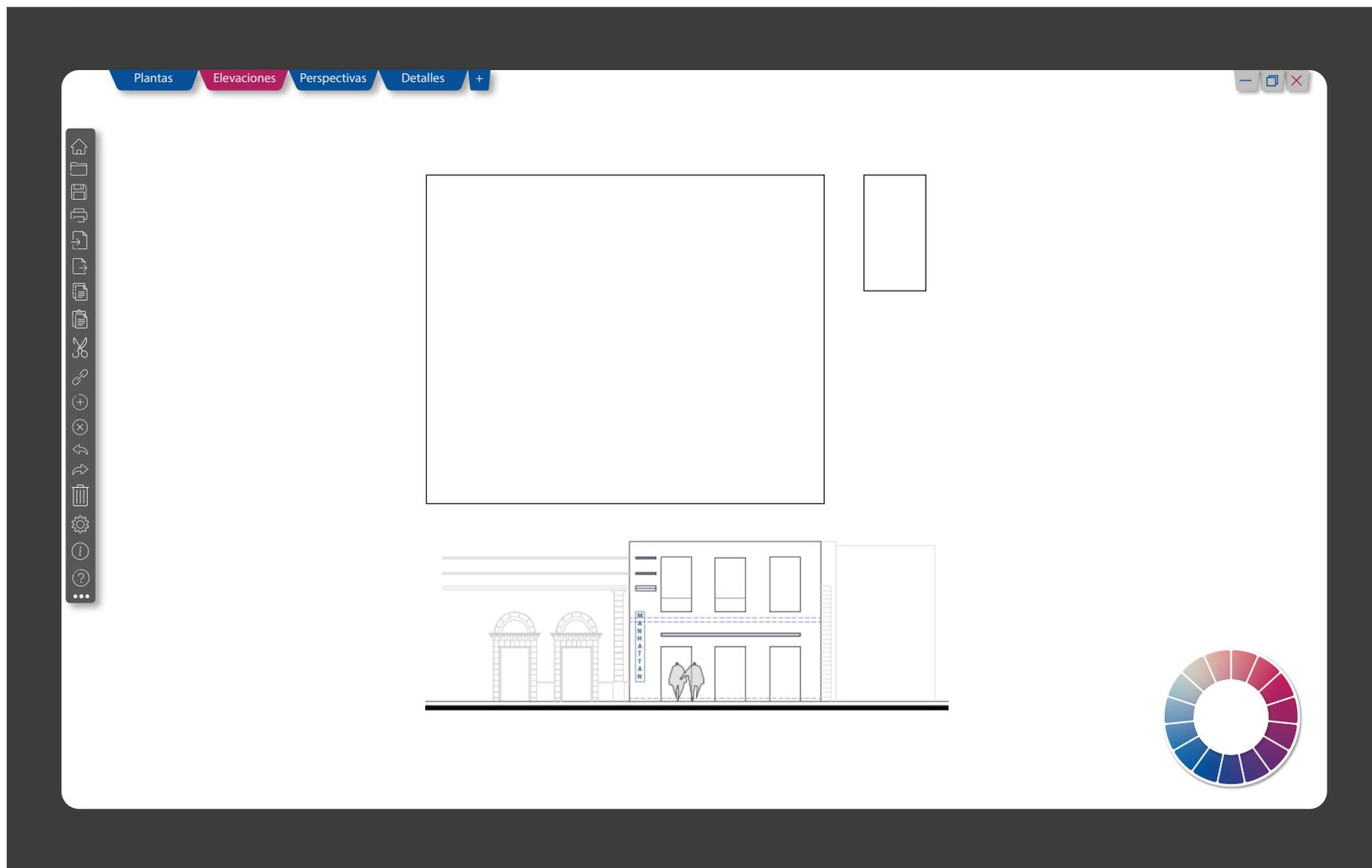


Figura 5.16: Interfaz gráfica del sistema AH+, conceptualización de un proyecto arquitectónico.

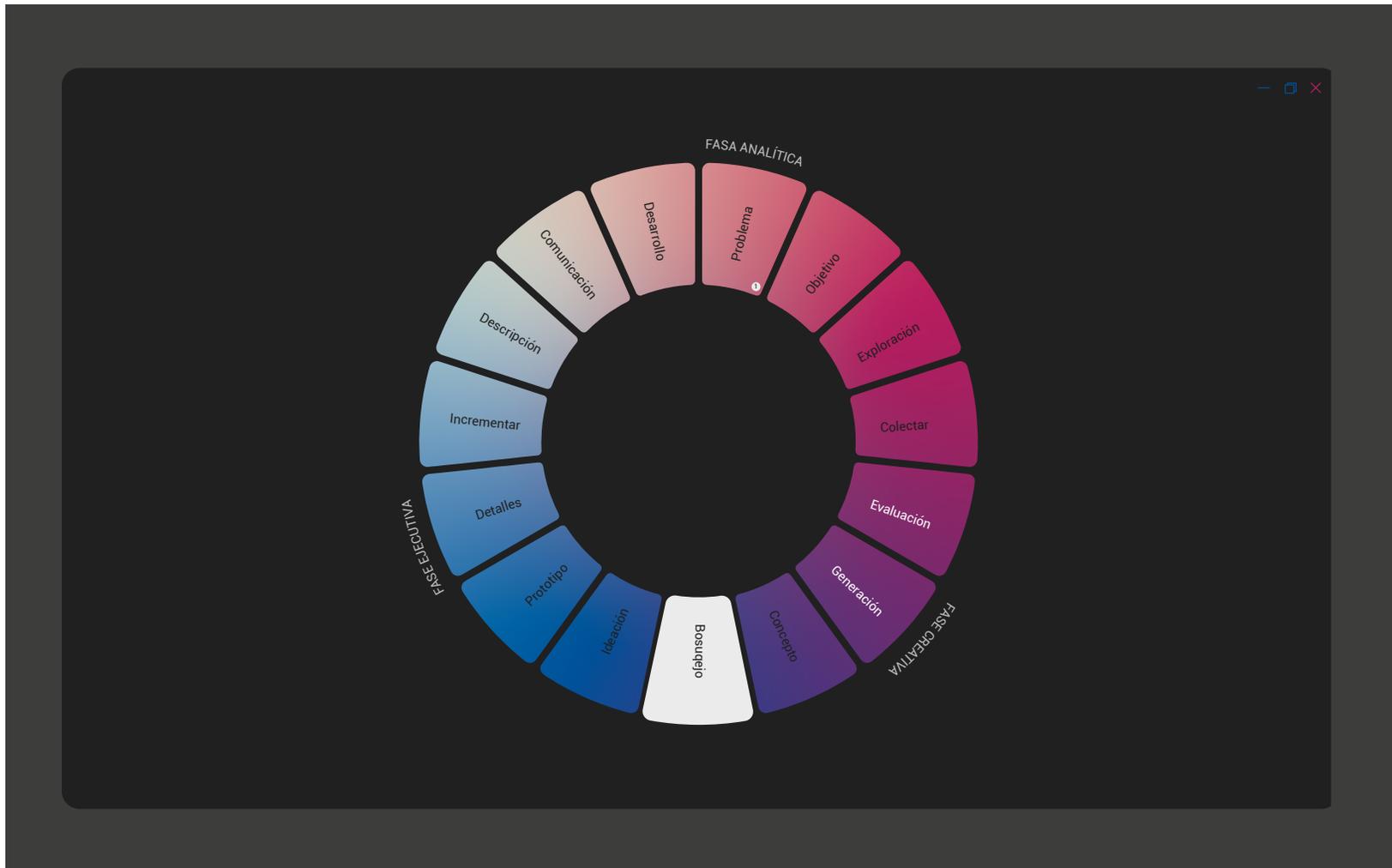


Figura 5.17: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, bosquejar.

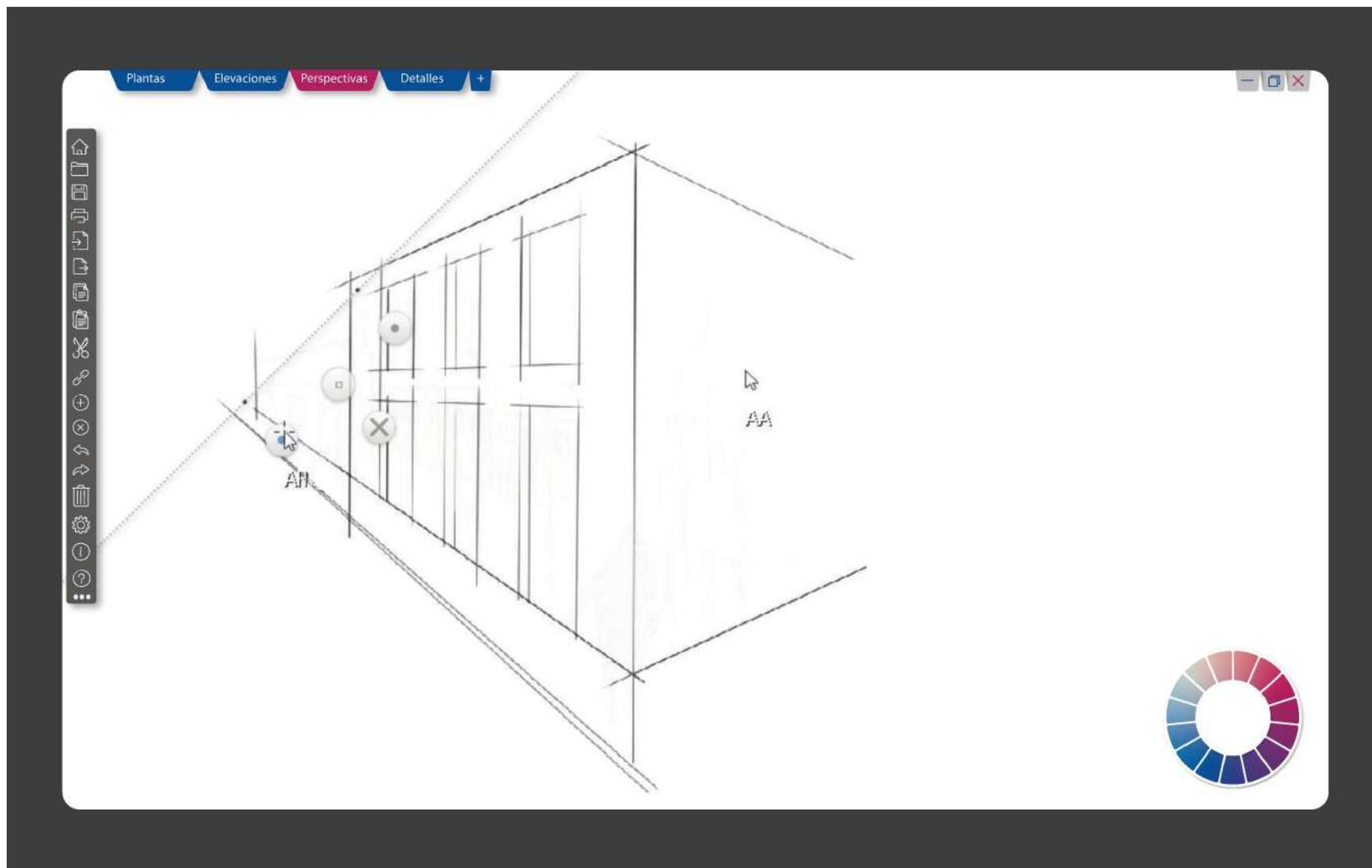


Figura 5.18: Interfaz gráfica del sistema AH+, realización de un bosquejo en conjunto con la IA.

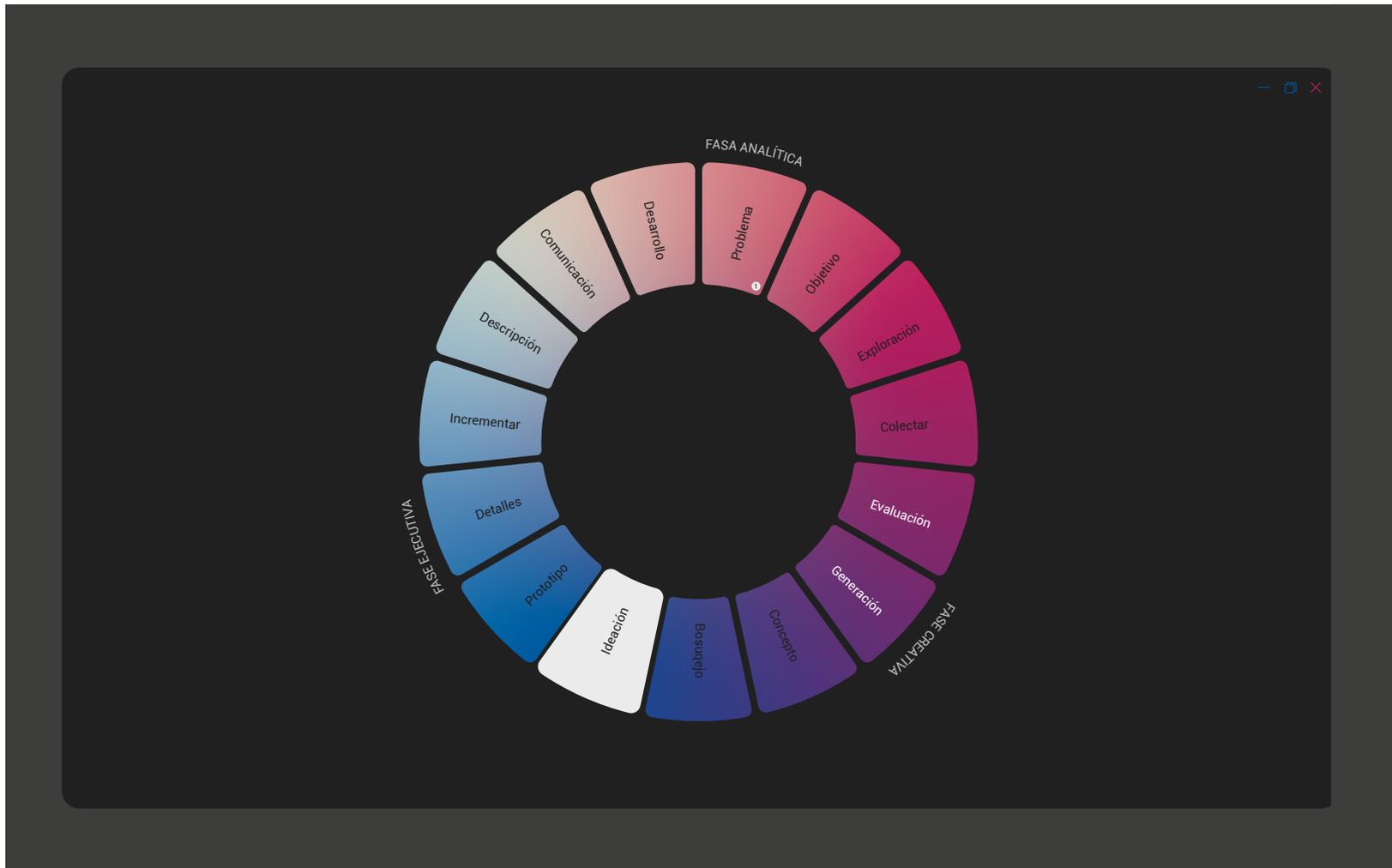


Figura 5.19: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, idealizar.

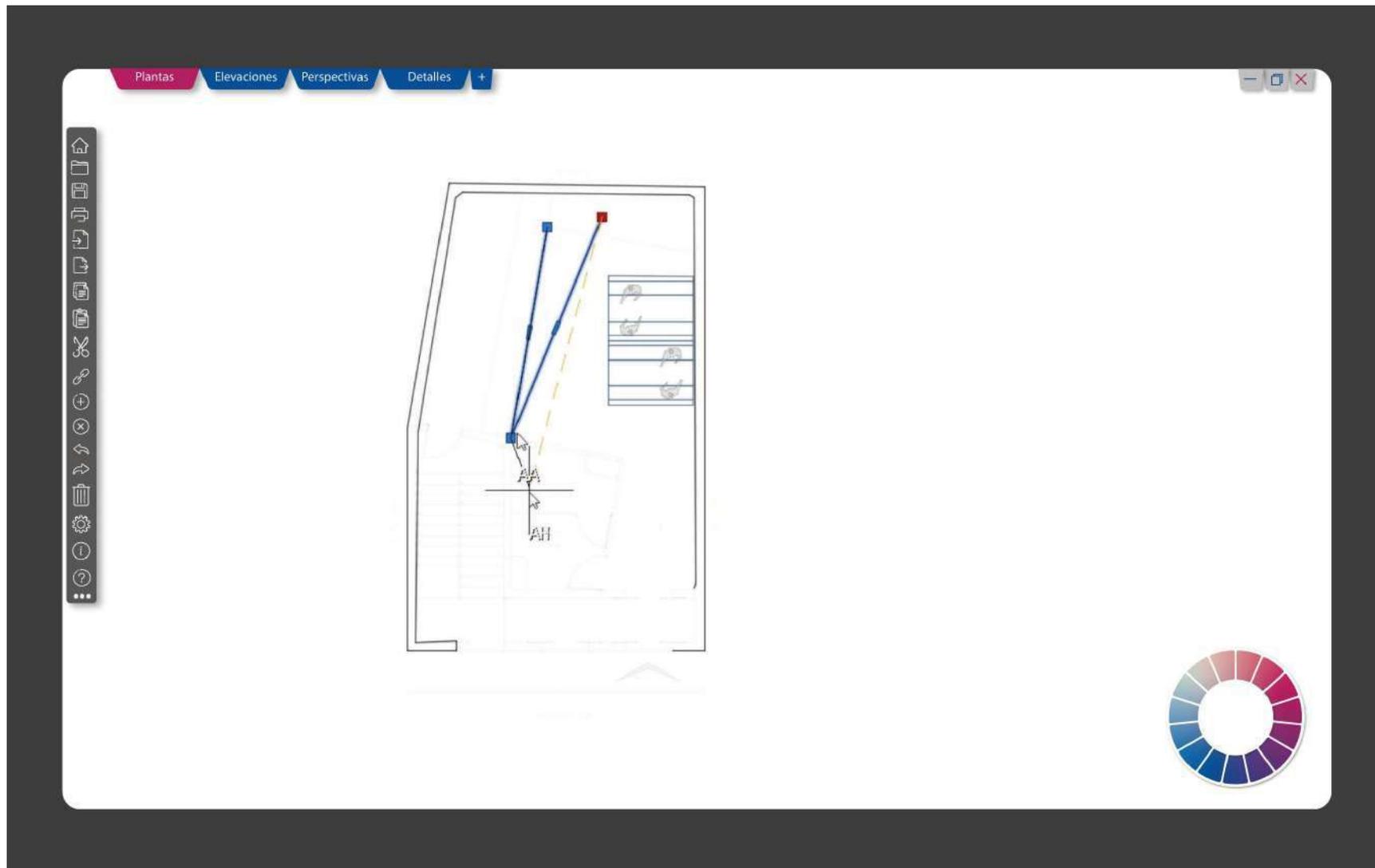


Figura 5.20: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, idealización de una distribución en planta.

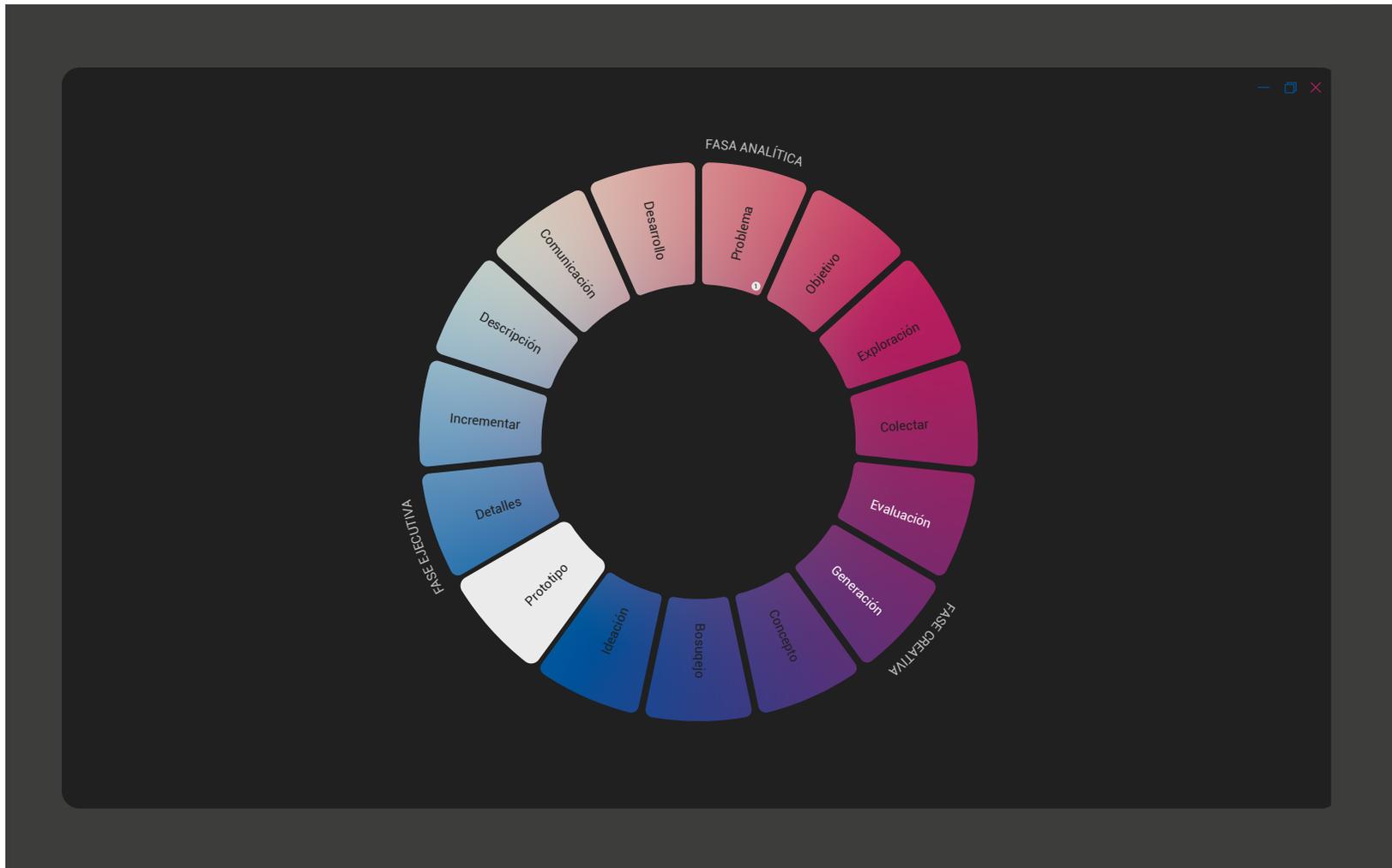


Figura 5.21: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, idealización de una distribución en planta.

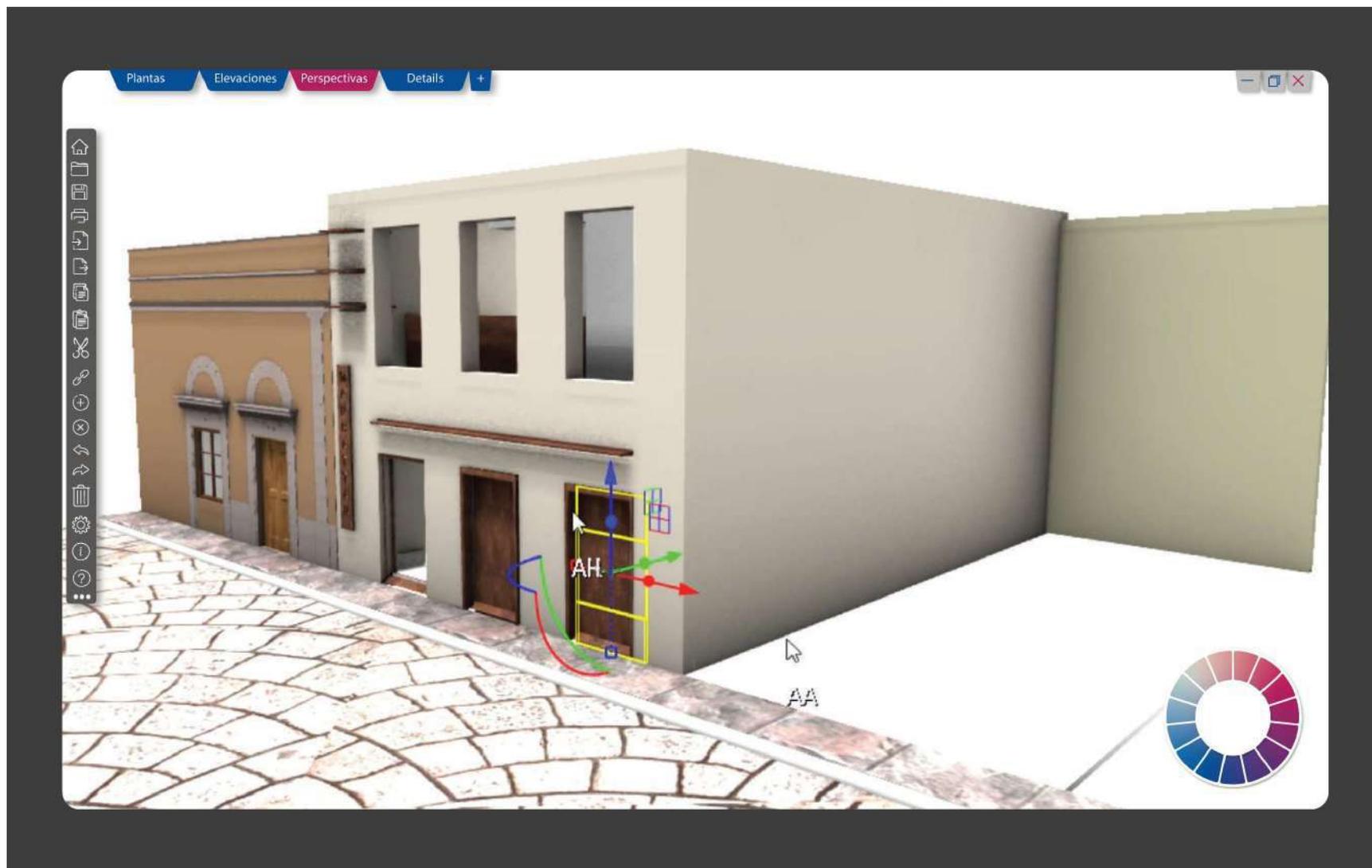


Figura 5.22: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, idealización de una distribución en planta.

detalles constructivos para llevar a cabo el proyecto arquitectónico (ver Fig. 5.24).

La acción de incrementar hace referencia a aumentar. En incrementar (ver Fig. 5.25) la visualización del proyecto se amplifica, determinando más información para su realización (ver Fig. 5.26).

Al describir un objeto buscamos entender las características físicas, térmicas, ecológicas y económicas. En descripción (ver Fig. 5.27) se preparan todas estas características estudiando los detalles y técnicas constructivas, una parte fundamental para conocer esto es el catálogo de conceptos que conformará la obra arquitectónica (ver Fig. 5.28).

Los resultados logrados durante el proceso de Diseño, son el proyecto mismo. En comunicación (ver Fig. 5.29) se selecciona la información necesaria para dar a conocer el proyecto, sus características y aspectos novedosos (ver Fig. 5.30).

Cuando la información necesaria está establecida, el proyecto se puede desarrollar. En desarrollo (ver Fig. 5.31) se da seguimiento a la construcción del proyecto (ver Fig. 5.32).

Esta propuesta de sistema inteligente busca proporcionar a la arquitecta o arquitecto humano, un entendimiento más claro de su proceso para potencializar el uso de herramientas de Diseño. El sistema no pretende ser protagonista en ninguna de las Fases del proceso, sino ser un colega para mejorar las propuestas, aprendiendo del arquitecto humano.

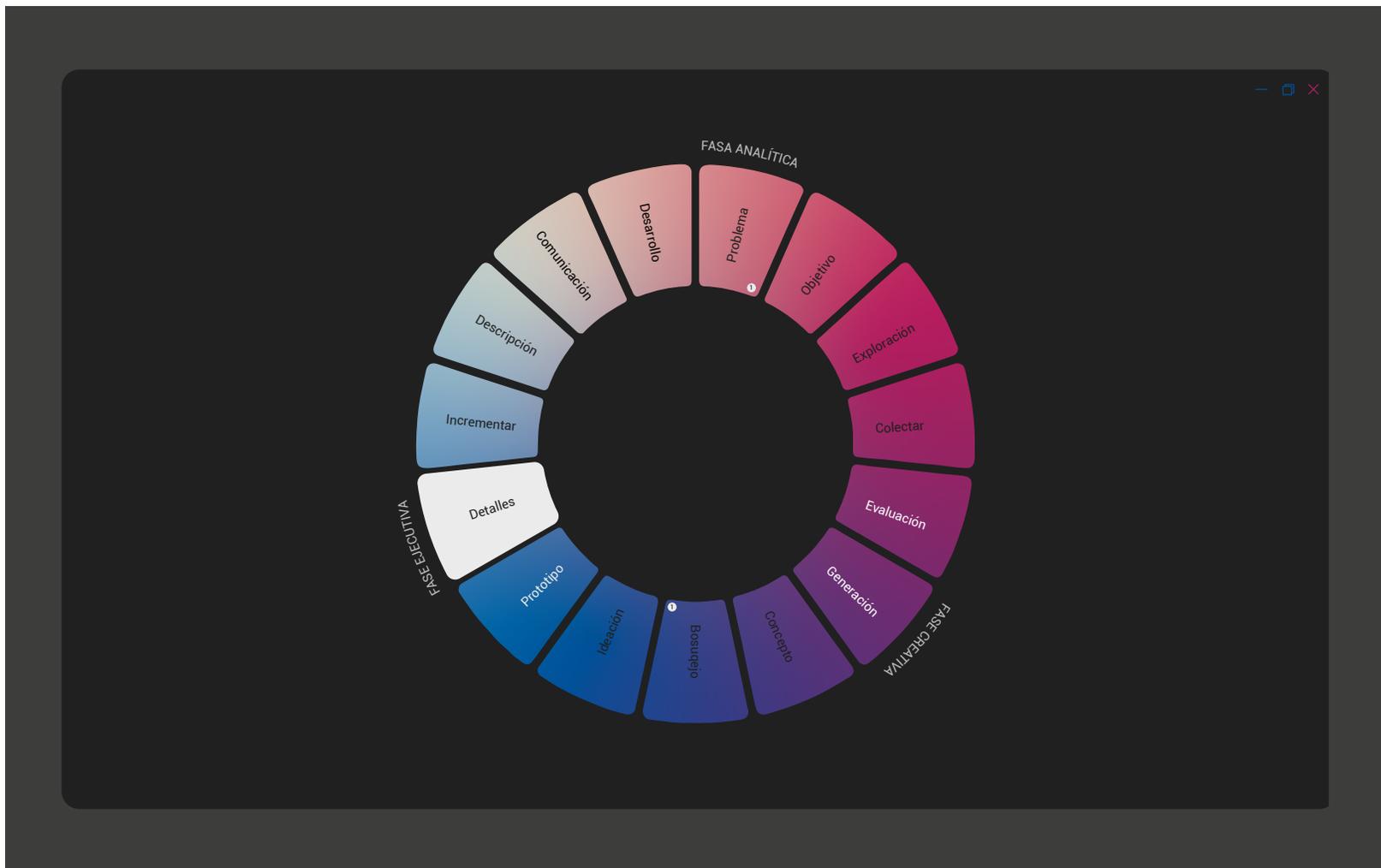


Figura 5.23: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, detallar.

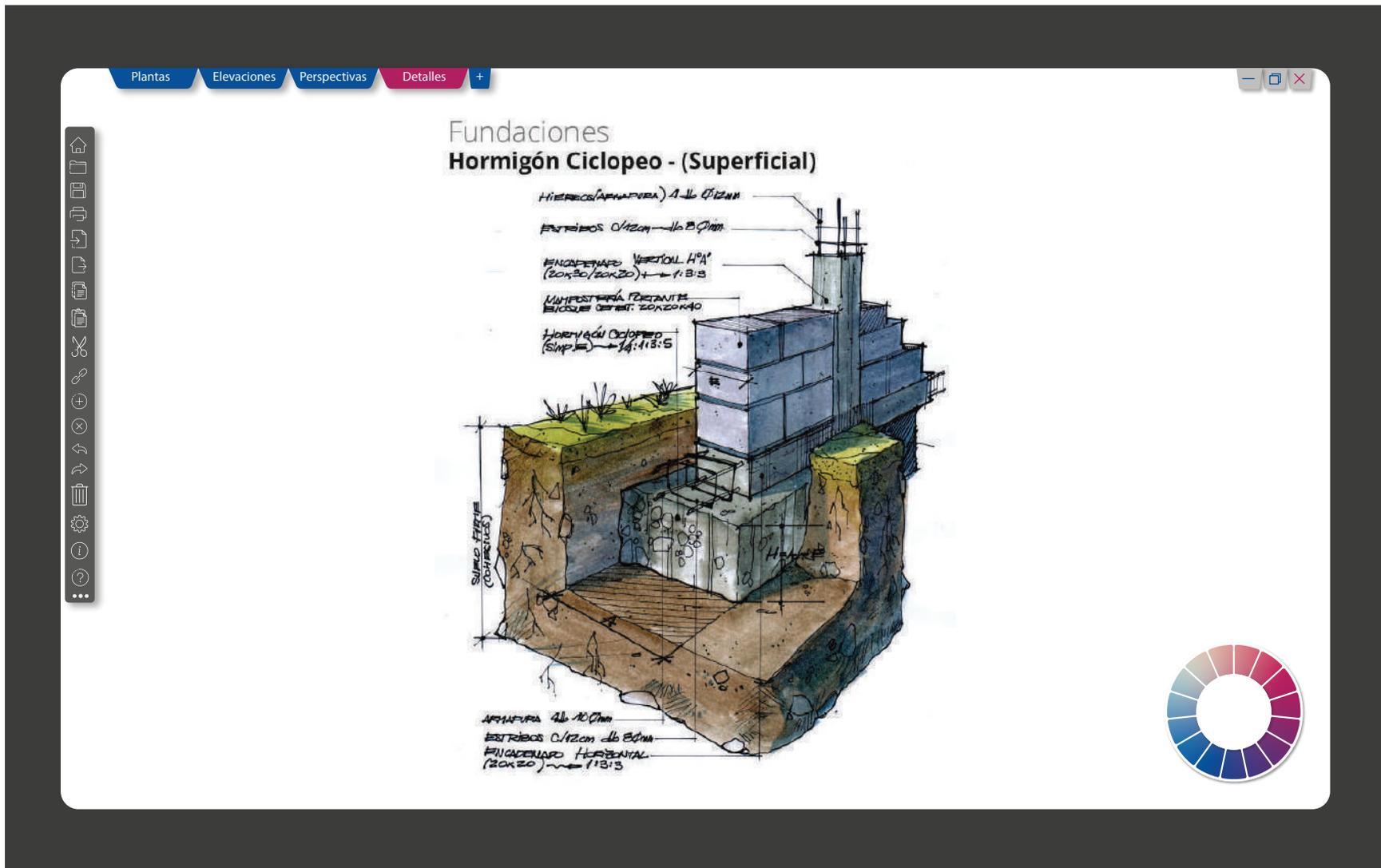


Figura 5.24: Interfaz gráfica del sistema AH+, realización de detalles arquitectónicos.

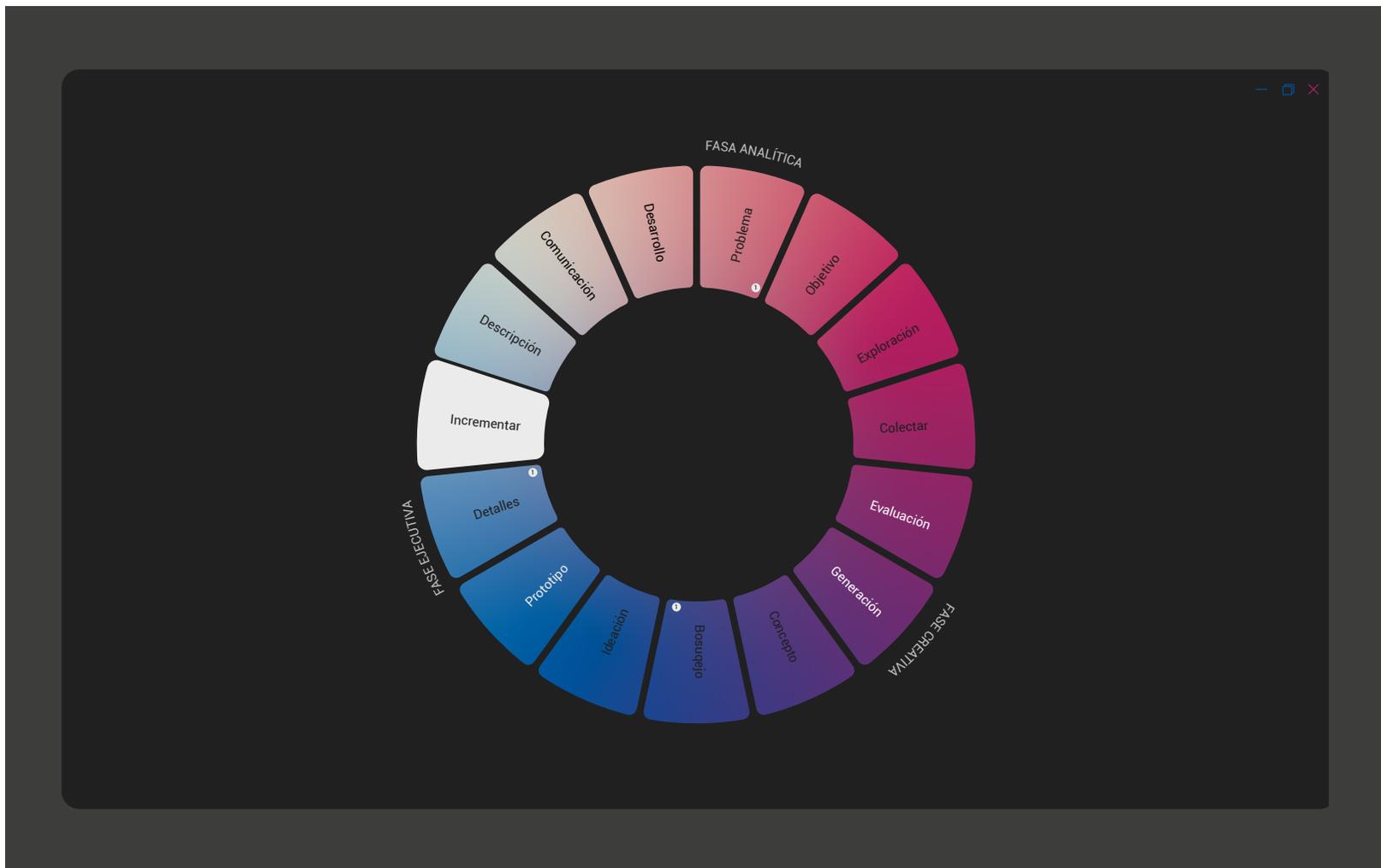


Figura 5.25: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, incrementar.

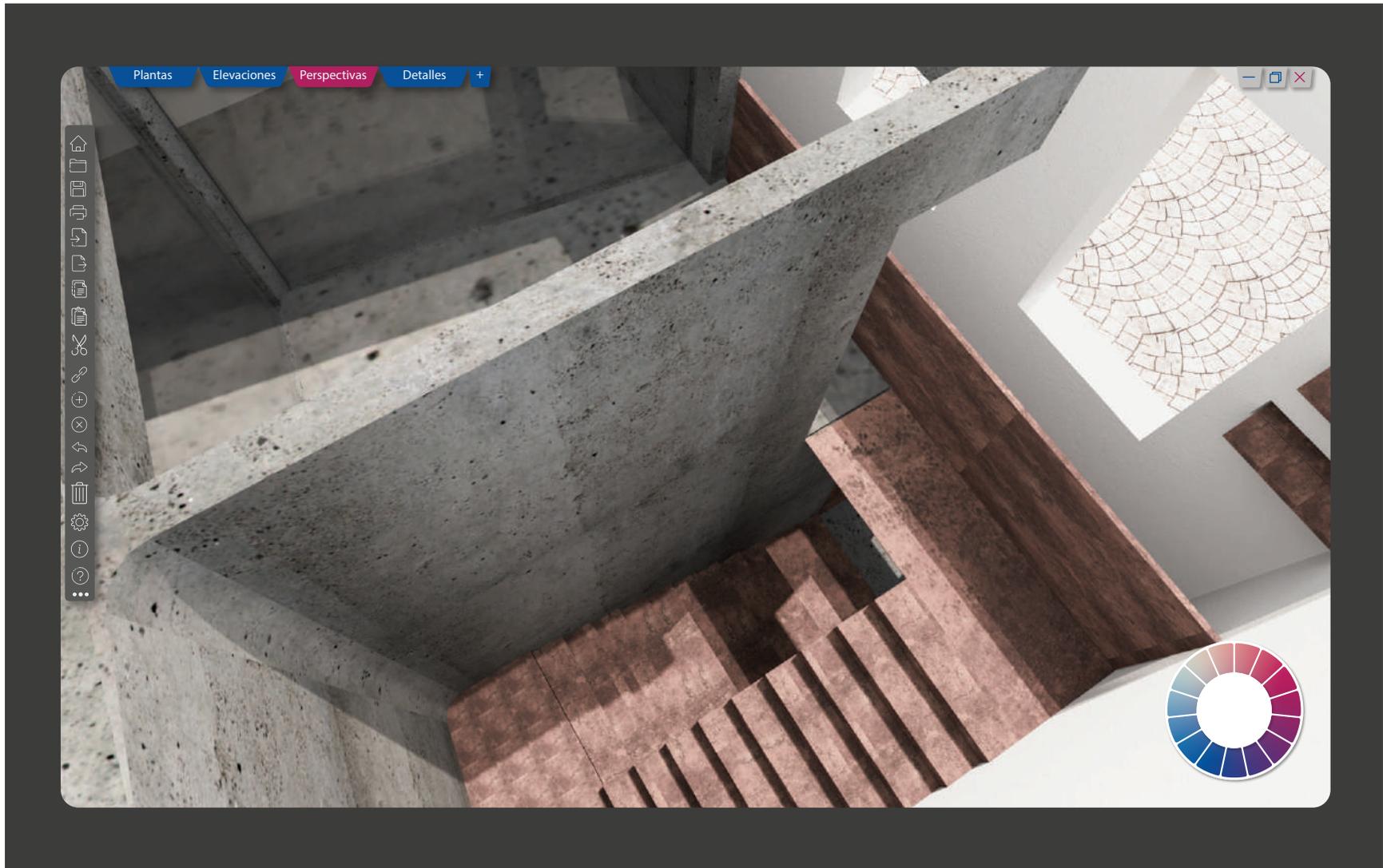


Figura 5.26: Interfaz gráfica del sistema AH+, incremento de visualización para observar acabados.

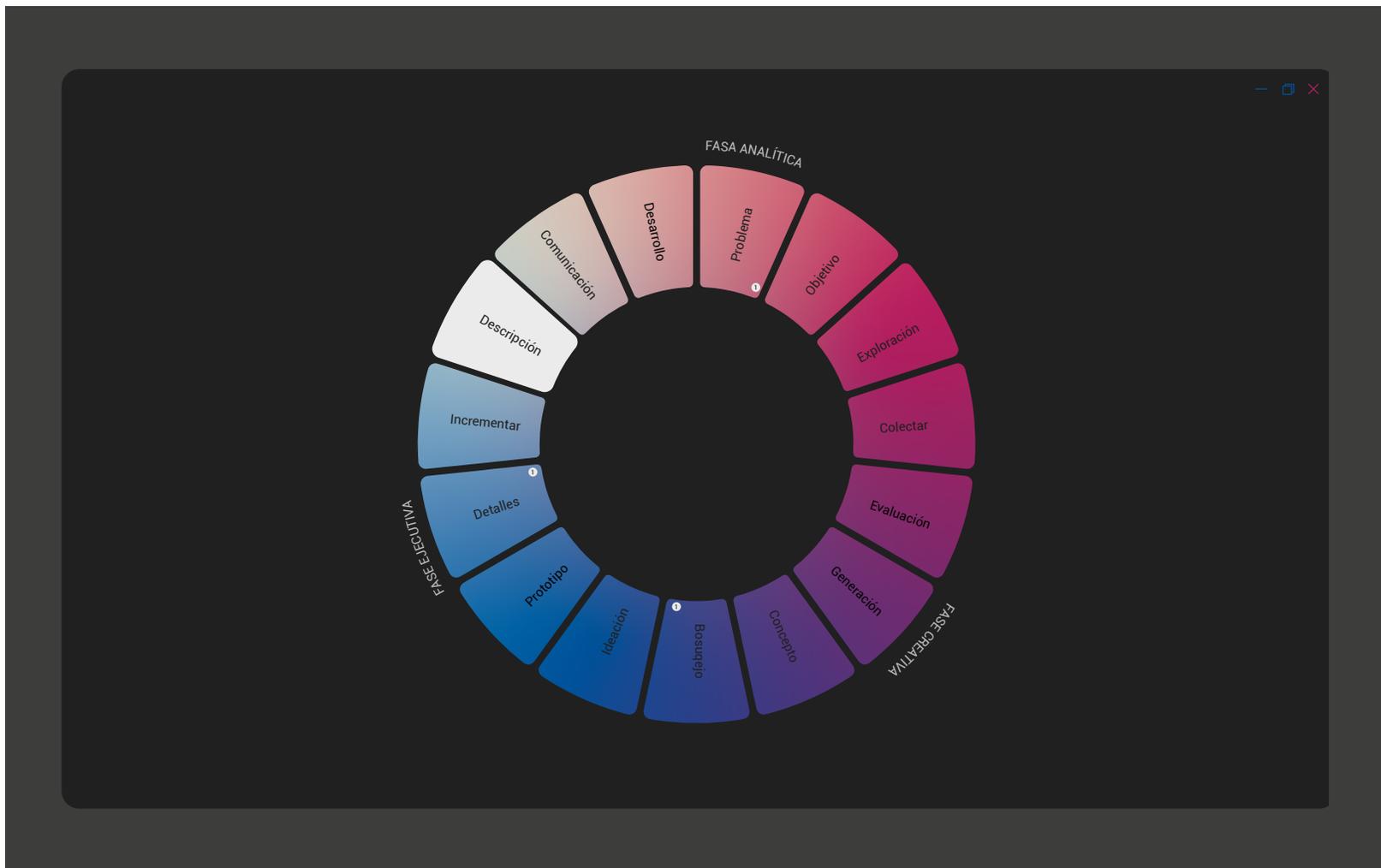


Figura 5.27: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, descripción.

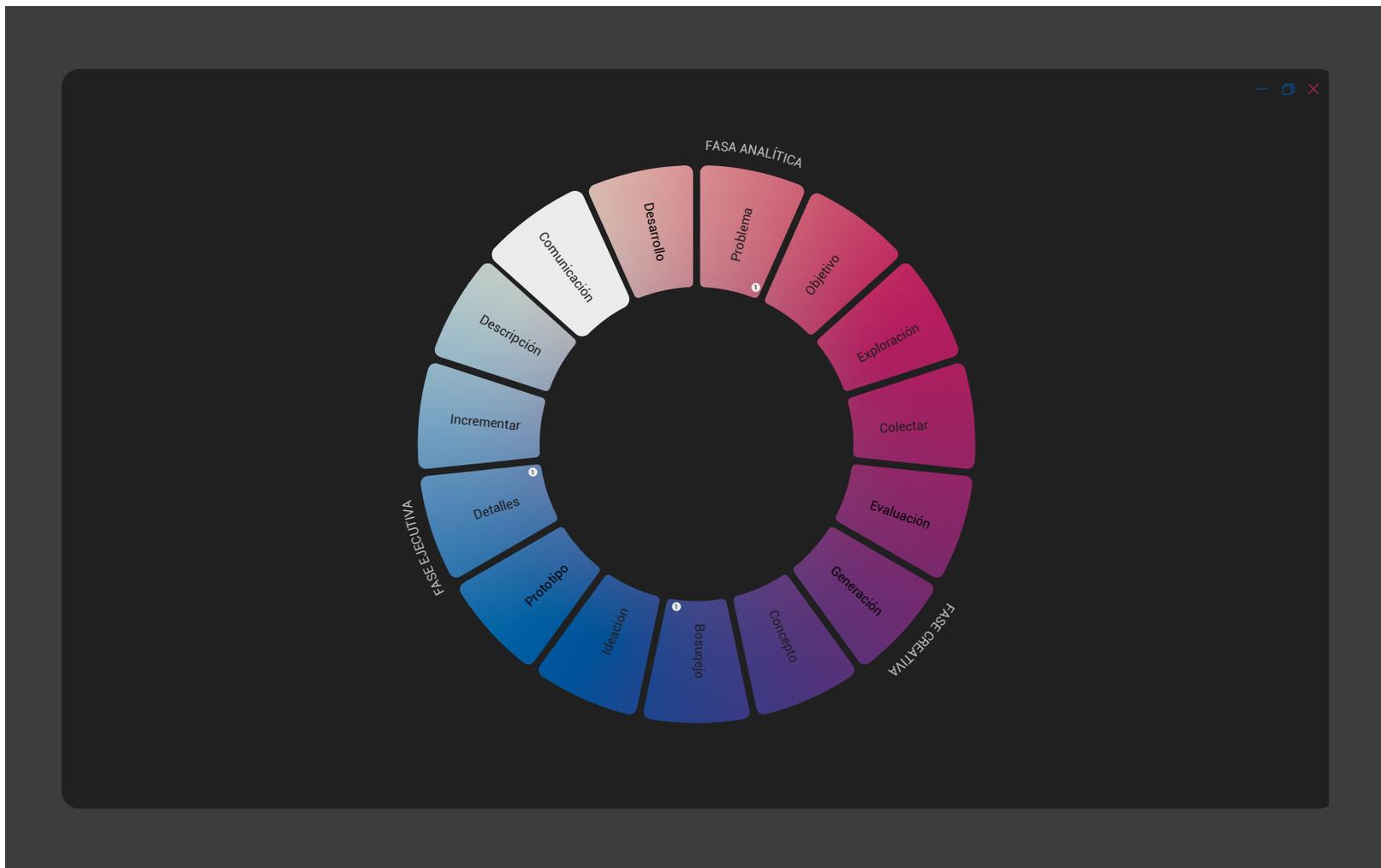


Figura 5.29: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, comunicación.

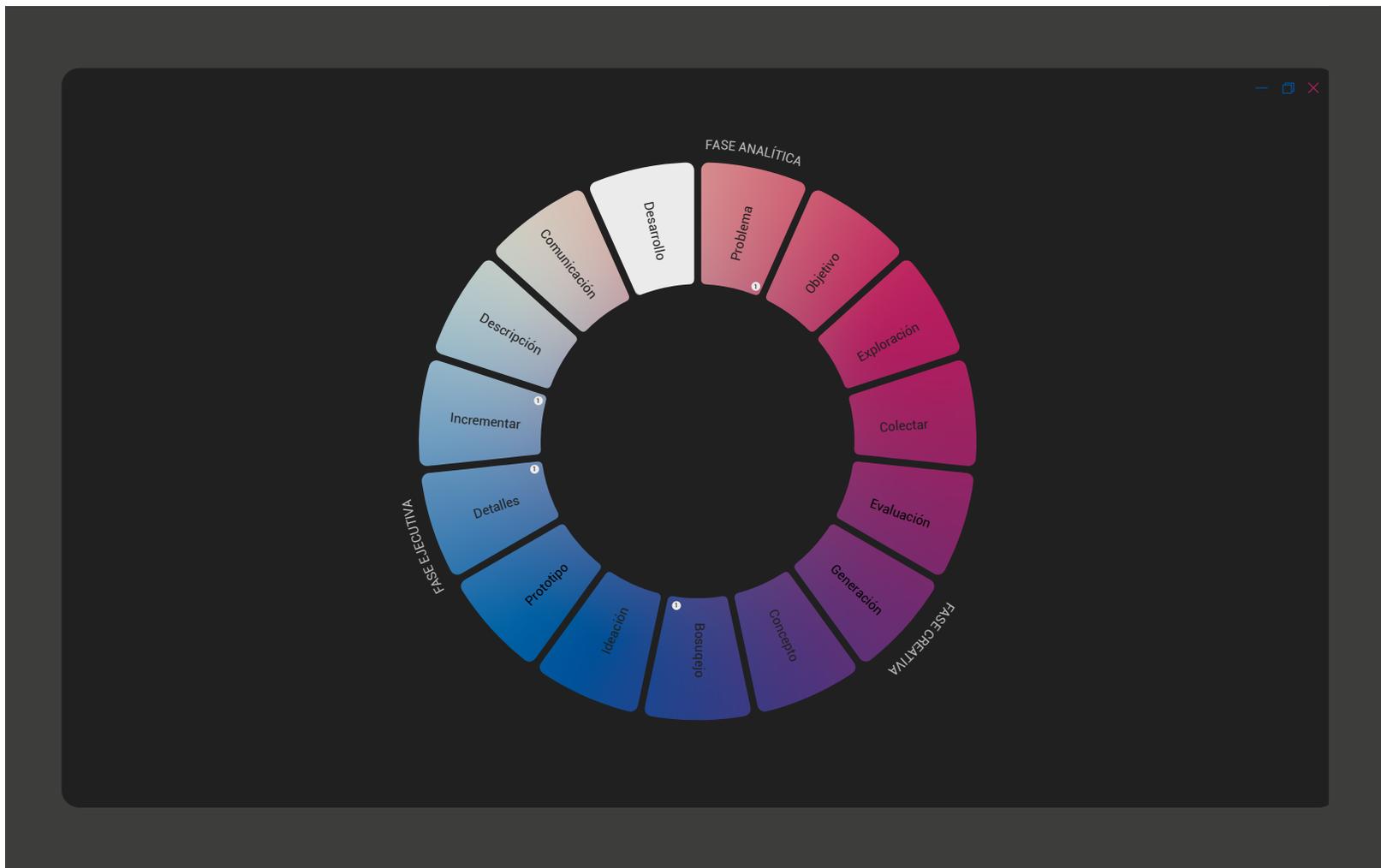


Figura 5.31: Interfaz gráfica del sistema AH+, menú principal, desarrollo.

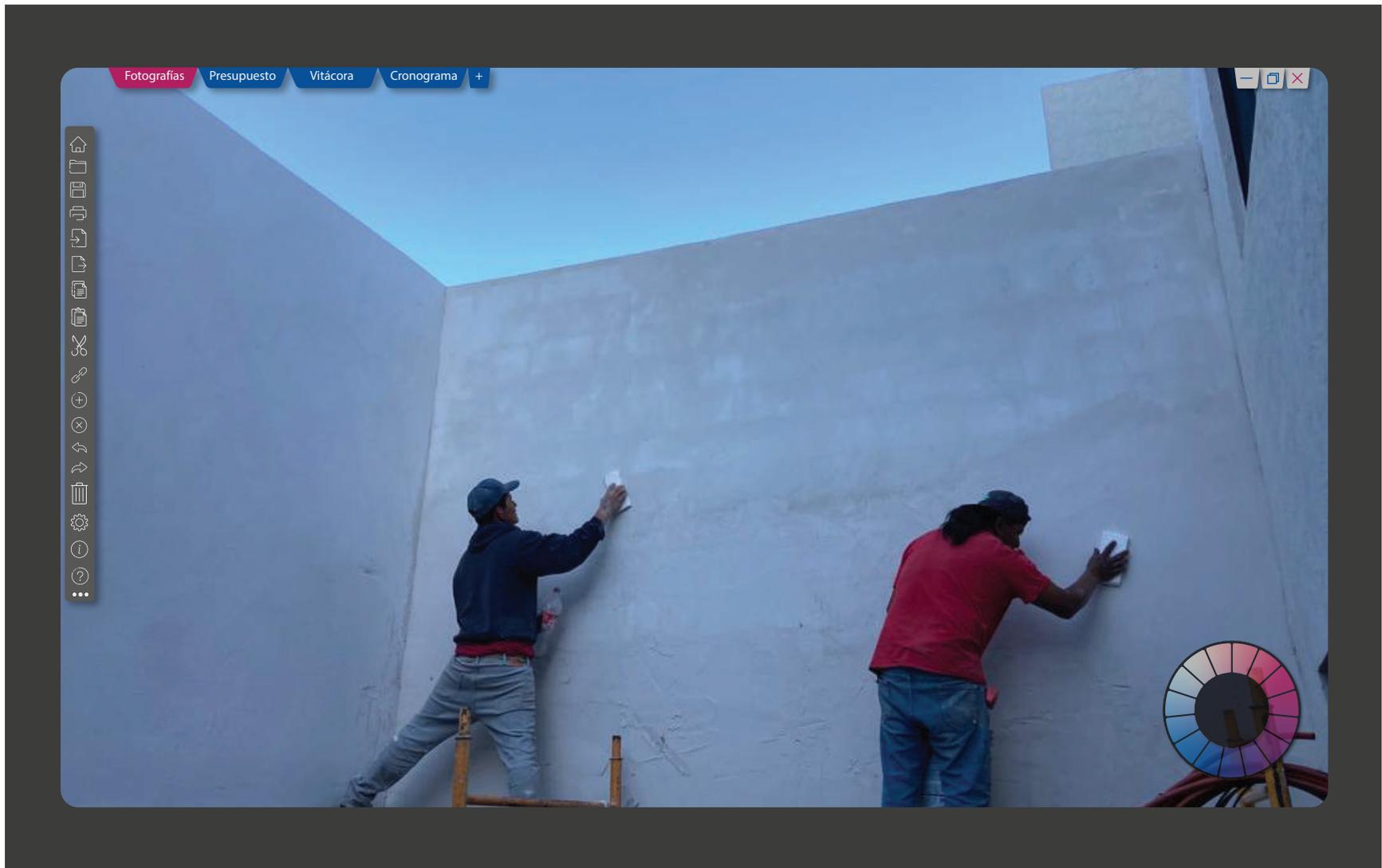


Figura 5.32: Interfaz gráfica del sistema AH+, seguimiento del desarrollo del proyecto.

Conclusiones

En este trabajo de investigación, se propuso un diagrama del proceso de Diseño que es independiente del problema y que contiene tres fases principales: La Fase Analítica, La Fase Creativa y la Fase Ejecutiva. Estas fases engloban una serie de acciones o actividades que se pueden realizar en cada una, dejando en claro que la creatividad es estimulada con determinadas acciones y de manera muy específica durante la Fase Creativa y que necesita de las otras dos fases, tanto para inspirar una propuesta de Diseño, como para desarrollar el problema.

En el contexto actual de una era de la información hacia una quinta revolución industrial, los diseñadores nos hemos aproximado al uso de la IA en el proceso de Diseño. A manera de introducción, en el capítulo 3 se describió la historia y las aportaciones de la IA al mundo, haciendo una revisión de ejemplos que podemos percibir en distintos campos y con variados avances tecnológicos. También nos adentramos en la explicación de las técnicas que se utilizan para el estudio y desarrollo de la IA, encontrando una evolución de sus técnicas, como: el cómputo evolutivo, recocido simulado, agentes inteligentes, gramáticas, razonamiento basado en casos, lógicas difusas, meta-heurísticas, optimización, aprendizaje automático y redes neuronales.

Una vez establecidos los conceptos básicos de la IA, se buscaron sistemas definidos como inteligentes que tienen presencia en la disciplina del Diseño Arquitectónico, ya que éste es el campo en el que tengo más experiencia. Sin embargo, al reconocer al Diseño Arquitectónico como una disciplina del Diseño en general, el estudio que se presentó se puede trasladar a otros

dominios, como al Diseño Gráfico, Diseño de videojuegos, Diseño Industrial, etc. La búsqueda se realizó en 60 revistas científicas y 36 congresos internacionales relacionados con el Diseño Arquitectónico como con la IA, y se amplió siguiendo las referencias de los artículos encontrados. Como resultado de la búsqueda se identificaron 41 sistemas inteligentes en el Diseño Arquitectónico producidos desde 1970, de los cuales, 26 están descritos en artículos de revistas científicas, 5 en memorias de congresos internacionales, 1 en libros, 6 en tesis y 3 sistemas comerciales.

En el capítulo 4, utilizando el diagrama del proceso de Diseño propuesto en este trabajo de investigación, se analizaron los 38 sistemas identificados y desarrollados por los investigadores del dominio y se incluyeron los 3 sistemas de uso comercial existentes. Se concluyó que la mayoría de los sistemas existentes (33 de los 41 sistemas) participa en la Fase Creativa del proceso de Diseño; es decir, en la generación del objeto arquitectónico, y que el método de IA más usado son los algoritmos genéticos, con un total de 9 acciones diferentes en el Proceso de Diseño.

En la Fase Analítica, 5 sistemas realizan la acción de Explorar y 1 la de Problematizar. En la Fase Creativa 16 sistemas realizan la acción de Generar, 7 la de Sintetizar, 7 la de Idear y solo 3 la de Conceptualizar. En cuanto a la Fase Ejecutiva 3 sistemas realizan la acción de Detallar, 1 la de Incrementar y 1 la de Describir.

Considerar las cualidades creativas para modelarlas con técnicas de IA ha sido importante y ha predominado en el desarrollo de los sistemas inteligentes, derivando en el Diseño Generativo utilizado en los sistemas comerciales, validados por una parte en el discurso del Diseño Arquitectónico, usados ya en el dominio de la Arquitectura, dando pauta a su aceptación de manera paulatina.

Este análisis, sugiere que los sistemas computacionales inteligentes en el dominio del Diseño Arquitectónico se han enfocado en participar en la Fase Creativa, existiendo menor participación en las Fases Ejecutiva y Analítica. Esto revela un área de oportunidad; es decir, sería interesante e importante crear sistemas que participen en estas dos fases que han sido menos exploradas. Con la maduración de las técnicas de IA podrá existir una exploración y aplicación mayor en estas Fases, tomando en cuenta a los usuarios de estos sistemas. La aplicación de estas propuestas concierne directamente a la educación y a la relación entre los seres humanos y la arquitectura.

Esto deja muy en claro que aún no se alcanzan a tocar otros niveles de Diseño que no se relacionen al producto por sí mismo. También se pudo observar que los primeros sistemas se encontraban muy limitados a la representación gráfica en dos dimensiones de un espacio arquitectónico, pero al transcurrir la investigación y el desarrollo de nuevos sistemas, se ha logrado trascender las dos dimensiones, con propuestas conceptuales en tercera dimensión, que pueden llegar a ser muy detalladas. De igual manera, se ha logrado representar otro tipo de información, como la relacionada al consumo energético, al análisis

estructural de elementos y a la optimización del espacio.

Del análisis anterior se pudo inferir que existe un nicho de oportunidad para proponer sistemas inteligentes que participen tanto en la Fase Analítica como en la Fase Ejecutiva, y que éstos estén basado en técnicas de aprendizaje automático, ya que de esta manera se podría entrenar al sistema para la toma de decisiones en colaboración con los diseñadores humanos, sumando la experiencia de Diseño en las diferentes fases. Con esto en mente, en el capítulo 5 se presentó el desarrollo teórico de un sistema inteligente en el dominio del Diseño Arquitectónico, al que se le llamó AH+. AH+, es la abstracción del proceso de Diseño, su interfaz permite la interacción en las tres fases del proceso definidas en este trabajo de investigación. Éste funciona como un vínculo entre los arquitectos y una IA para abordar un problema de Diseño, desde su planteamiento hasta su desarrollo. Con la abstracción del proceso de Diseño y el ejercicio para el desarrollo teórico de este sistema, es posible imaginarnos cómo podrían funcionar en un futuro los sistemas inteligentes en el dominio del Diseño.

Después de este viaje por el Diseño y la IA, he llegado a la conclusión de que las aportaciones más valiosas de la IA a la disciplina del Diseño Arquitectónico, radican en: la experimentación con nuevas formas, el razonamiento acerca de los métodos constructivos tradicionales para llevar a cabo estas formas, el mismo proceso de Diseño, los sistemas computacionales o soportes que usan las y los arquitectos. Como aportaciones no tan positivas, podríamos hablar de la similitud de las edificaciones que han comenzado desde hace tiempo en el mundo, en parte producto de la automatización de algunas partes del proceso de Diseño Arquitectónico. La inclusión de sistemas inteligentes para la educación de los arquitectos, es también un tema muy interesante por abordar y sería de gran interés conocer en qué instituciones ya se utiliza este tipo de sistemas inteligentes para la formación de las nuevas generaciones en el dominio de la arquitectura.

La disciplina de la IA es toda una experiencia por conocer, con su propia complejidad y que vinculada al Diseño podría generar un trabajo interdisciplinario muy vasto, para obtener productos transdisciplinarios con valor científico y académico. Considero este trabajo un esfuerzo en esa dirección. Pero, aún hay muchas preguntas por resolver. ¿Cómo podríamos hacer una conexión más cercana entre estas disciplinas?, ¿qué tipo de problemas de Diseño se podrían abordar?, ¿porque los sistemas participan más en lo que hemos identificado como La Fase Creativa?, ¿realmente funcionaria un sistema como AH+?, ¿cuál es el método de IA más adecuado para la implementación de este tipo de sistemas?, ¿podría abarcar otros niveles más complejos de Diseño?, etc.

Bibliografía

- [1] A. F. Jimenez, P. F. Cardenas, A. C. F. J. A. P. (2020). A survey on intelligent agents and multi-agents for irrigation scheduling. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176:105–474. [52](#)
- [2] A. Purnington, e. a. (2017). “alexa is my new bff”: Social roles, user satisfaction, and personification of the amazon echo. *Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 2853–2859. [43](#)
- [3] A.K. Jain, R. D. and Mao, J. (2000). Statistical pattern recognition: A review. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(1):4–37. [58](#)
- [4] Almeida, A., Taborda, B., Santos, F., Kwiecinski, K., and Eloy, S. (2016). A genetic algorithm application for automatic layout design of modular residential homes. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pages 002774–002778. [120](#)
- [5] Apple (2020). Siri does more than ever. even before you ask. [Online; accessed 19-July-2020]. [43](#)
- [6] ArchDaily (2015). Mathematics: The winton gallery / zaha hadid architects. [Online; acceso 09-Septiembre-2020]. [61](#)
- [7] As, I., Pal, S., and Basu, P. (2018). Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *International Journal of Architectural Computing*, 16(4):306–327. [125](#)

- [Autodesk] Autodesk, I. [128](#)
- [9] B. Barron (2020). The life and times of babel fish: An important internet history lesson. [Online; accessed 19-July-2020]. [42](#)
- [10] Bello, M., Lugo, L., García, M., and Bello, R. (2016). Un método para la generación de rankings en la selección de equipos de trabajo en ambiente competitivo basado en algoritmos genéticos. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10:196–210. [49](#)
- [11] Beristáin, L. (2001). La retórica en el proceso creativo de la arquitectura. *Acta Poética*, pages 293–322. [32](#)
- [12] Bertsimas, D. and Tistsiklis, J. (1993). Simulated annealing. *Statistical Science*, 8:10–15. [51](#)
- [13] Bijker, J. (2012). Computational intelligence technology for the generation of building layouts combined with multi-agent furniture placement. Master’s thesis, Master of Science program in Information Technology, University of Johannesburg, SA. [109](#)
- [14] Bittermann, M. (2011). A computational design system with cognitive features based on multi-objective evolutionary search with fuzzy information processing. *Design Computing and Cognition*, 10:505–524. [103](#)
- [15] Bruijne, M. D. (2016). ”machine learning approaches in medical image analysis: From detection to diagnosis.”. *Elsevier*, pages 94–97. [44](#)
- [16] Calcagni, L. R. (2020). *Redes Generativas Antagónicas y sus aplicaciones*. PhD thesis, Universidad Nacional de La Plata. [60](#)
- [17] Caldas, L. (2008). Generation of energy-efficient architecture solutions applying *gene_arch* : *An evolution – based generative design system*. *Advanced Engineering Informatics*, 22 : 59 – –70. [106](#)
- [18] Caldas, L. (2011). Generation of energy-efficient patio houses: Combining *gene_arch* and *marrakesh* *medina* *shape* *grammar*. *AAAI Spring Symposium*
- [19] Caldas, L. G. (1995). *An Evolution-Based Generative Design System: Using Adaptation to Shape Architectural Form*. PhD thesis, The Bartlett Graduate School University College London, University of London, UK. [83](#)
- [20] Campbell, M., Hoane, A., and Hsu, F. (2001). Deep blue. *Artificial Intelligence*, 134:57–83. [42](#)
- [21] Chen, X. (2016). The evolution of computing: Alphago. *Computing in Science Engineering*, 18.4:4–7. [44](#)

-
- [22] Chouchoulas, O. (2003). *Shape Evolution, An Algorithmic Method for Conceptual Architectural Design Combining Shape Grammars and Genetic Algorithms*. PhD thesis, Centre for Advanced Studies in Architecture Department of Architecture and Civil Engineering University of Bath, USA. 90
- [23] Cobo, C. (2016). *La innovación pendiente, reflexiones (y provocaciones) sobre educación, tecnología y conocimiento*. Editorial Sudamericana Uruguay S.A. 16
- [24] Correia, R., Duarte, J., and Leitão, A. (2012). Gramatica, a general 3d shape grammar interpreter targeting the mass customization of housing. 108
- [25] D. Benros V. Granadeiro, J. D. and Knight, T. (2011). Automated design and delivery of relief housing : The case of post-earthquake haiti. *CAAD Future 2011: Designing Together*, pages 247–264. 101, 104
- [26] D. Cordero, Y. Ruiz, Y. T. (2013). Sistema de razonamiento basado en casos para la identificación de riesgos de software. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7-2:222–239. 54
- [27] D. Kendrick (2020). Dancing the roomba: Artificial intelligence that sweeps the floor. [Online; accessed 19-July-2020]. 43
- [28] de Silva, A. G. (2019). An introduction to and comparison of computational creativity and design computing. *Artificial Intelligence Review*, 51:61–76. 21
- [29] Diéguez, A. (2016). La singularidad tecnológica y el desafío posthumano. el inquietante siglo xxi. *Revista de pensamiento contemporáneo*, 50:154–164. 16
- [30] E. Duarte, B. M. L. (2014). Sistema de reconocimiento de voz para aplicaciones en una vivienda. *Convención Científica de ingeniería y Arquitectura*, 17. 58
- [31] Facebook Research (2020). Caffe2. [Online; acceso 10-October-2020]. 44
- [32] Fogel, D. (2000). What is evolutionary computation? *IEEE SPECTRUM*, 37:26–32. 47
- [33] Foguel, D. (1997). The advantages of evolutionary computation. *In Bcec*, 49:1–11. 48
- [34] Francisco, O. (2012). Pronóstico del rendimiento del ipc (Índice de precios y cotizaciones) mediante el uso de redes neuronales diferenciales. *Contaduría y Administración*, 57-2:63–81. 59

- [35] Frazer, J., Frazer, J., Xiyu, L., Mingxi, T., and Janssen, P. (2002). Generative and evolutionary techniques for building envelope design. 10. [85](#)
- [G. Verma] G. Verma, year=1970, p. *Autodesk Fusion 360 Book (2nd Edition)*. [130](#)
- [37] Gay, A. and Samar, L. (2007). *El diseño industrial*. Córdoba Argentina: Ediciones teC. [15](#), [16](#)
- [38] Gero, J. (2010). Future directions for design creativity research. *Design Creativity*, pages 15–22. [23](#), [24](#)
- [39] Gero, J. (2016). Computational models of creative design processes. *University of Sydney*, pages 10–21. [30](#)
- [40] Gestal, M., Rivero, D., Rabuñal, J., Dorado, J., and Pazos, A. (2010). *Introducción a los Algoritmos Genéticos y la Programación Genética*. Universidad de Coruña. [49](#)
- [41] Granadeiro, V., Duarte, J., Correia, J., and Leal, V. M. S. (2013). Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation. *Automation in Construction*, 32:196–209. [112](#)
- [42] G.Stiny (1980). Proyecto arquitectónico mediante gramáticas de formas sencillas y aprendizaje. *Environment and Planning B*, 7:343–351. [53](#)
- [43] Guo, Z. and Li, B. (2016). Evolutionary approach for spatial architecture layout design enhanced by an agent-based topology finding system. *Frontiers of Architectural Research*, 6:53–62. [119](#)
- [44] Hance, E. (1976). *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. New York Oxford Amsterdam. [41](#)
- [45] Herr, C. and Kvan, T. (2005). Using cellular automata to generate high-density building form. *Computer aided architectural design futures*, pages 249–258. [91](#)
- [46] Hidalgo, J. and Cervigón, C. (2002). Una revisión de los algoritmos evolutivos y sus aplicaciones. [49](#), [50](#)
- [47] Hierro, J. (2005). *Filosofía de la mente y de la Ciencia cognitiva*. Akal. [46](#)
- [48] High, R. (2012). *The Era of Cognitive Systems: An Inside Look at IBM Watson and How it Works*. Redbooks. [43](#)
- [49] Hípola, P. and Vargas-Quesada, B. (1999). Agentes inteligentes: definición y tipología. los agentes de información. *El profesional de la información*, 8:13–21. [52](#)

-
- [50] Jordan, M. and Mitchell, T. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Centro de Investigación y Estudios Avanzados. México*, 349:255–260. [57](#)
- [51] Kackper, R. (2017). Artificial neural networks as an architectural design tool-generating new detail forms based on the roman corinthian order capital. *IOP Conference Series: Materials Science and Enginee*, 245:1–8. [122](#)
- [52] Kaufman, J. and Beghetto, R. (2009). Beyond big and little: The four model of creativity. *Review of General Psychology*, 13:1–12. [21](#)
- [53] Kazi, R., Grossman, T., Cheong, H., Hashemi, A., and Fitzmaurice, G. (2017). Dreamsketch: Early stage 3d design explorations with sketching and generative design. *UIST*, 14:401–414. [123](#)
- [54] Krippendorf, K. (1997). A trajectory of artificiality and new principles of design for the information age. *Design in the Age of Information, A Report to the National Science Foundation (NSF)*, pages 91–96. [16](#), [20](#), [24](#)
- [55] L. Hardesty (2017). Explained: Neural networks. [Online; accessed 18-July-2020]. [42](#)
- [56] Lambert, M. and Kennedy, P. (2012). Using artificial intelligence to build with unprocessed rock. *ISSN*, 517:939–945. [110](#)
- [57] Leclercq, P. and Juchmes, R. (2002). The absent interface in design engineering. *Artificial Intelligence for Engineering Design*, 16:219–227. [86](#)
- [58] Lladós, J., López-Krahe, J., and Martí, E. (1997). A system to understand hand-drawn floor plans using subgraph isomorphism and hough transform. *Machine Vision and Applications*, 10:150–158. [77](#)
- [59] Lozano, L. and Fernández, J. (2008). Razonamiento basado en casos: Una visión general. [54](#)
- [60] M. Czajkowski, M. K. (2014). Evolutionary approach for relative gene expression algorithms. *The Scientific World Journal*, pages 1–7. [50](#)
- [61] Marrero, A. (2006). Algoritmos evolutivos en la solución de problemas de estimación de parametros. *Revista de Matemáticas: Teoría y Aplicaciones*, 13:139–150. [50](#)
- [62] Mars, A., Grabska, E., Slusarczyk, G., and Strug, B. (2019). Style-oriented evolutionary design of architectural forms directed by aesthetic measure. *International Conference on-Design Computing and Cognition*, pages 705–720. [126](#)
- [63] Marsland, S. (2015). *Machine Learning An Algorithmic Perspective*. Taylor Francis Group. [57](#)

- [64] Marson, F. and Musse, S. R. (2010). Automatic real-time generation of floor plans based on squarified treemaps algorithm. *International Journal of Computer Games Technology*. 98
- [65] Martin, J. (2006). Procedural house generation: A method for dynamically generating floor plans. *Proceedings of the Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, pages 1–2. 96
- [66] Matich, D. (2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*. Universidad Tecnológica Nacional. 59
- [67] Mawdesley, M. J., Al-jibouri, S. H., and Yang, H. (2002). Genetic algorithms for construction site layout in project planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5):418–426. 88
- [68] McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., and Shannon, C. (1955). A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence. 40
- [69] Mendiola, J. (2008). Algunas diferencias entre modelos simbólicos y conexionistas. *Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Querétaro*. 46
- [70] Merrell, P., Schkufza, E., and Koltum, V. (2010). Computer-generated residential building layouts. *Transactions on Graphics*, 29(6). 99
- [71] Michalek, J. (2001). Interactive layout design optimization. Master’s thesis, Master of Science program in Mechanical Engineering, Univesity of Michigan. USA. 82
- [72] Michie, D. (1968). ”memo”functions and machine learning. *Nature*, 218:19–22. 41
- [73] MIT (1990). Kismet. [Online; accessed 18-July-2020]. 42
- [74] Morales, G. (2002). Introducción a la lógica difusa. *Centro de Investigación y Estudios Avanzados. México*. 55
- [75] More, M. (2010). The overhuman in the transhuman. journal of evolution and technology. *Journal of Evolution and Technology*, 21:1–4. 16
- [76] Moreno, A., Armengol, E., Béjar, J., Belanche, L., Cortés, U., Gavaldà, R., Gimeno, J., López, B., Martín, M., and Sánchez, M. (1994). *Aprendizaje automático*. Taylor Francis Group. 57
- [77] Negroponte, N. (1970). *The Architetcure Machine, Toward a More Human Environment*. MIT Press. 61, 74

-
- [78] Oxman, R. (2008). Performance-based design: Current practices and research issues. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1):1–17. [97](#)
- [79] Pazos, A., Pedreira, N., Rabuñal, J., and Pereira, J. (2007). Inteligencia artificial y computación avanzada. *Enseñanza de las Ciencias*, pages 93–104. [46](#)
- [80] Piedra, J. (2016). Transhumanismo: hacia un nuevo cuerpo. revista intenacional de filosofía. *Revista internacional de filosofía*, 79:489–495. [16](#)
- [81] Pineda, M. (2008). *Control de un Modelo Aerodinámico Aplicando Sistemas Difusos*. Escuela Politécnica Nacional. [55](#)
- [82] Pohl, J. (2015). Artificial superintelligence: Extinction or nirvana? *InterSymp*. [46](#)
- [83] R. Arora, A. Jacobobson, T. R. L. Y. H. C. M. W. M. A. s. K. S. and Levin., D. I. W. (2019). Volumetric michell trusses for parametric design fabrication. *Association for Computing Machinery*. [130](#)
- [84] R. Crespo, S. Cuenca, E. F. A. M. (2019). Metaheuristic optimisation algorithms for tuning a bioinspired retinal model. *Sensors*, 19. [56](#)
- [85] Recio, J., Díaz, B., and Gonzáles, P. (2008). *Case-Based Reasoning Framework*. Universidad Complutense de Madrid. [54](#)
- [86] Reese, S. (2002). Dart: Revolutionizing logistics planning. *IEEE Intelligent Systems*, 17(3):81–83. [42](#)
- [87] Reffat, R. (2006). Archietctural exploration and creativity using intelligent design agents. *eCAADe*, 21:181–186. [94](#)
- [88] Robotic Industries Association (2020). Unimate the first industrial robot. [Online; accessed 16-July-2020]. [41](#)
- [89] Rodrigues, E., Rodrigues, A., and Gomes, A. (2014). Automated approach for design generation and thermal assessmentof alternative floor plans. *Energy and Buildings*, 81:170–181. [114](#)
- [90] Rodriguez, L. (2013). El cambio paradigmático. los métodos en diseño despues de la modernidad. *Diálogos del Diseño*, pages 1–7. [25](#)
- [91] Rodriguez, L. (2016). Pensamiento de diseño. *De los métodos proyectuales al pensamiento de diseño*, pages 1–13. [27](#)
- [92] Ruiz-Montiel, M., Boned, J., Gavilanes, J., Jiménez, A., Mandow, L., and de la Cruz, J. P. (2014). Proyecto arquitectónico mediante gramáticas de formas sencillas y aprendizaje. *Inteligencia Artificial*, 17:21–29. [53](#)

- [93] S. Anthony (2014). Eugene goostman becomes the first ai to pass the turing test, convincing judges that he's a 13-year-old boy. [Online; accessed 19-July-2020]. [43](#)
- [94] Sadek, A. (2012). Advantages and limitations of artificial intelligence. *Artificial Intelligence Applications to Critical Transportation Issues*, E-C168:6–8. [44](#)
- [95] Sawyer, K. (2012). *Explaining creativity, The Science of Human Innovation*. Oxford University Press. [21](#)
- [96] Schwarz, A., Berry, D. M., and shaviv, E. (1994). On the use of the automated building design system. *computer-aided design*, 26:747–762. [76](#)
- [97] Searle, J. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3:417–457. [46](#)
- [98] Searle, J. (1990). Is the brain a digital computer? *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, 64:21–37. [46](#)
- [99] Shea, K., Aish, R., and Gourtovaia, M. (2005). Towards integrated performance-driven generative design tools. *Automation in Construction*, 14:253–264. [93](#)
- [100] Sloman, A. (1985). Did searle attack strong stron or weak stron ai? *Proceedings AISB Conference, Warwick Uniwversity*, pages 1–17. [46](#)
- [101] Sol, G. (2009). *+ de 100 definiciones de diseño*. UAM Unidad Xochimilco. [16](#)
- [102] Song, H., Ghaboussi, J., and Kwon, T. (2016). Architectural design of apartment buildings using the implicit redundant representation genetic algorithm. *Automation in Construction*, 72:166–173. [118](#)
- [103] Sony (1990). Aibos history. [Online; accessed 18-July-2020]. [42](#)
- [104] SRI International (2019). Shakey the robot. [Online; accessed 17-July-2020]. [41](#)
- [105] Stouffs, R. (2012). On shape grammars, color grammars and sortal grammars: a sortal grammar interpreter for varying shape grammar formalisms. [53](#)
- [106] Sánchez, P. (2015). *El Escencialismo en la actualidad: Análisis desde una posición Bilogicista*. Universidad de Salamanca. [46](#)

-
- [107] Sönmez, N. O. (2015). Architectural layout evolution through similarity-based evaluation. *International Journal of Architectural Computing*, 13(3-4):271–297. [116](#)
- [108] T. Mousiadis, S. M. (2016). arametric bim: Energy performance analysis using dynamo for revit. Master’s thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. [128](#)
- [109] TensorFlow (2015). An end-to-end open source machine learning platform. [Online; accessed 20-July-2020]. [44](#)
- [110] Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 49:433–460. [38](#)
- [111] Turrin, M., Buelow, P., and Stouffs, R. (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4):656–675. [102](#)
- [V. A. A. Camarena] V. A. A. Camarena, E. R. L. Orozco, S. E. L. O. M. T. C. [51](#)
- [113] Vadim, S. (2013). ”moravec’s paradox: consideration in the context of two brain hemisphere functions.”. *Activitas Nervosa Superior*, 55:108–111. [41](#)
- [114] Vinayak, M., Tavraks, Y., and Singh, S. (2016). intelligence analysis of tay twitter bot.”. *2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*. *IEEE*, pages 257–262. [43](#)
- [115] Wang, Y. (1998). 3d architecture form synthesizer. Master’s thesis, Department of Architecture, MIT, USA. [80](#)
- [116] Weizenbaum, J. (1966). Computational linguistics. *Communications of the ACM*, 9:36–45. [41](#)
- [117] Wonka, P., Wimmer, M., Sillion, F. X., and Ribarsky, W. (2003). Instant architecture. *ACM Transactions on Graphics, Association for Computing Machinery*, 22(4):669–677. [89](#)
- [118] Yang, X. (2010). *Nature-inspired metaheuristic algorithms*. Luniver press. [56](#)
- [119] Yegnanarayana, B. (2009). *Artificial neural networks*. PHI Learning Pvt. Ltd. [59](#)
- [120] Yi-Luen, E. (1998). *The Right Tool at the Right Time Investigation of Freehand Drawing as an Interface to Knowledge Based Design Tools*. PhD thesis, Posgrado en Arquitectura, Georgia Institute of Technology, USA. [79](#)
- [121] Zadeh, L. (1968). Probability measures of fuzzy events. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 23:421–427. [55](#)

- [122] Zboinska, M. (2014). Hybrid cad/e platform supporting exploratory architectural design. *Computer-Aided Design*, 59:64–84. [113](#)
- [123] Égido, J. (2007). *Bio Diseño*. *Designio*. [21](#), [24](#), [194](#), [195](#), [198](#)

Capítulo 7

Anexos

7. ANEXOS

| Definición | Papel | Autor | Año |
|--|---------------------------------|---------------------|------|
| Organización y equilibrio armonioso de materiales, procedimientos y elementos | Organizar | Moholy Nagy | 1947 |
| Procedimiento de analizar, crear y desarrollar productos | Analizar, crear, desarrollar | Van Doren | 1954 |
| Proceso constitutivo de la forma de un producto | coordinar, integrar y articular | Simondon | 1958 |
| Estudio previo de la forma, figura, color y textura de objetos | Estudiar | Tedeschi | 1962 |
| Actividad proyectual para determinar propiedades formales en objetos | Proyectar | Maldonado | 1963 |
| Proceso de inventar cosas físicas, organización y forma en respuestas a la función | Inventar | Alexander | 1964 |
| Proceso de elaboración de productos, equipos, máquinas, objetos, etc. | Elaborar | Design Industry | 1966 |
| Dar forma a productos y servicios para ayudar a un mejor disfrute del entorno | Dar forma | ICSID | 1967 |
| Seleccionar los materiales correctos y darles forma, y así satisfacer función y estética | Seleccionar | Archer | 1968 |
| Planeación y desarrollo imaginativo de objetos para ser producidos masivamente | Planear, desarrollar | Durán | 1969 |
| Reune en el proceso interdisciplinario de la evolución de los productos | Reunir | Geyer | 1970 |
| Utilizar la tecnología para crear y mejorar los productos y sistemas | Utilizar, crear, mejorar | Kauffman | 1971 |
| Concepción de productos industriales tomando en cuenta técnica y marketing | Concebir | Wolf | 1972 |
| Se remite al objeto producido en la industria teniendo una actividad proyectiva | Producir, proyectar | Enciclopedia Salvat | 1973 |
| Actividad creativa y destinada a definir por un contexto un proceso productivo | Crear | Hepp | 1974 |
| Un buen diseño industrial es innovador, hace comprensible un producto | Innovar | Rams | 1975 |
| Encontrar óptimas soluciones tanto económica como funcional y formalmente | Proyectar | UNAM | 1976 |
| Determinar las características formales de los productos industriales | Determinar | UAM Xochimilco | 1976 |

Tabla 7.1: Presenta las definiciones de Diseño analizadas de 1947 a 1971, así como el papel que desempeña el diseñador, basadas en las propuestas de una definición formal del Concepto de Diseño de Ralph and Wand y + de 100 definiciones de Diseño de Sol. Elaboración propia

| Definición | Papel | Autor | Año |
|--|-------------------------|------------------|------|
| Actividad profesional específicamente proyectual de manera interdisciplinaria | Proyectar | UAM Azcapotzalco | 1977 |
| Disciplina responsable de la planeación de los objetos de producción iterativa | Planear | UNAM | 1978 |
| Existe al interior del mercado y ayuda a definirlo dándole forma a la vida cotidiana | Definir | Loewy | 1979 |
| Combina la creatividad y sensibilidad estética, tecnología y producción | Crear | UNAM | 1980 |
| Toda actividad que tiende a transformar en un producto industrial | Transformar | Löbach | 1981 |
| Actividad dirigida a la determinación de características funcionales | Determinar | Bonsiepe | 1982 |
| Conformación de los objetos en relación con un aparato productivo | Conformar | Alvarez | 1983 |
| Comprende todos los aspectos de organización en las artes visuales | Organizar | Richardson | 1984 |
| Disciplina técnica y creativa especializada en la prefiguración de productos | Prefigurar | Pibernat | 1986 |
| Analizar la significación de los objetos, tener una actitud crítica | Analizar | UAM Xochimilco | 1987 |
| Proyecto desde la ideación hasta la materialidad de los objetos de uso | Proyectar | Blanco | 1988 |
| Arte del pensamiento dirigido a la acción práctica mediante la persuasión de los objetos | Persuadir | Buchanan | 1989 |
| Una exploración orientada a objetivos, limitada a la toma de decisiones | Explorar | Gero | 1990 |
| Conjunto de actos de reflexión y formalización material en el proceso creativo | Reflexionar, formalizar | Costa y Moles | 1991 |
| Generar descripciones de artefactos y analizar el entorno en el que opera | Analizar | Hinrichs | 1992 |
| Proceso conceptual que transforma la solución de un problema técnico | Transformar | Boom | 1994 |

Tabla 7.2: Presenta las definiciones de diseño analizadas de 1972 a 1982, así como el papel que desempeña el diseñador, basadas en las propuestas de una definición formal del Concepto de Diseño de Ralph and Wand y + de 100 definiciones de Diseño de Sol.

Elaboración propia

7. ANEXOS

| Definición | Papel | Autor | Año |
|--|--------------------------|------------------------|------|
| Un plan para organizar los elementos de la mejor manera posible | Organizar | Moggridge | 1995 |
| Creación de productos funcionales que contribuirían a la cultura material | Crear | Krippendorf | 1997 |
| Artista que maneja la imagen, posee un don que da la sensibilidad | Manejar | González | 1998 |
| Diseñar es crear una estructura que organice la lógica en el sistema | Organizar | Beck | 2000 |
| Solucionar problemas relacionados con necesidades sociales de diversa índole | Solucionar | Novelo | 2001 |
| Especificación o plan para hacer un artefacto o emprender un actividad particular | Especificar, hacer | Love | 2002 |
| Servir y asistir al hombre y permitirle actuar física y emocionalmente | Servir, asistir | Brown | 2003 |
| Actividades de conceptualizando, enmarcando, implementando, y modificando | Conceptualizar, enmarcar | Freeman y Hart | 2004 |
| Proceso productivo relativo, en el cual se determinan las características de un producto | Caracterizar | Chaves | 2005 |
| Se ocupan de la forma de las cosas, de la configuración del entorno | Configurar | Tejeda | 2006 |
| Actividad creativa cuya voluntad es la de establecer las cualidades de un producto | Crear | ICSID | 2007 |
| Agente que usa sus habilidades para contribuir a la creación de un diseño | Contribuir | Paul Ralph y Yair Wand | 2009 |
| Proceso holístico que implica esfuerzo mental y físico y manejo de tiempo y recursos | Decidir | Luna | 2014 |
| Plan o especificación para la construcción de un objeto o sistema | Planear, especificar | Wikipedia | 2021 |

Tabla 7.3: Presenta las definiciones de diseño analizadas de 1983 a 1997, así como el papel que desempeña el diseñador, basadas en las propuestas de una definición formal del Concepto de Diseño de Ralph and Wand y + de 100 definiciones de Diseño de Sol. Elaboración propia

7.1. Modelo de French

Este modelo es el representado por French en 1998, basado en actividades, resultados y etapas (ver Fig. 7.1).

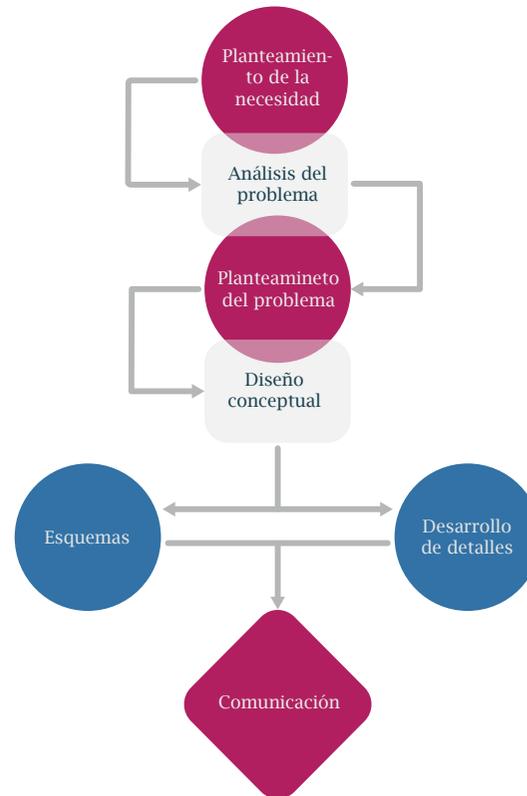


Figura 7.1: Ilustra el modelo de French basado en el diagrama de Egido, no se identifica una iteración en este.

- **Análisis del problema.** Independiente de la magnitud del problema es para French una parte importante para delimitar la necesidad de la manera más precisa.
- **Planteamiento del problema.** Este se relaciona con el problema de diseño y sus limitantes; en esta etapa, se plantean las metas restricciones y criterios.
- **Diseño conceptual.** En esta etapa del modelo, se plantean las alternativas de solución en forma esquemática e integrada con los conocimientos del diseñador, los relacionadas a la práctica y a los sistemas de producción.
- **Representación de esquemas.** Es la producción de esquemas formales debidamente ligada con el diseño conceptual para la obtención de una retroalimentación.
- **Desarrollo de detalles.** Consta de la definición de detalles estratégicos para un producto de calidad.
- **Comunicación.** Es la representación gráfica y de manera detallada, incluyendo por ejemplo, especificaciones. Resultado final del proceso(123).

7.2. Modelo de Cross

En este caso el proceso se reduce a cuatro fases (ver Fig. 7.2).

1. **Exploración.** El problema se encara con la recopilación de información y bosquejando las ideas iniciales, sólo en búsqueda de comprender el problema inicial.
2. **Evaluación.** Ésta consume un tiempo considerable, considera ajuste de componentes, resistencia del producto y funcionalidad.
3. **Comunicación.** Considera es el resultado de las anteriores y consiste en una descripción detallada y clara del producto. En ésta se considera el prototipado físico y virtual. (123)

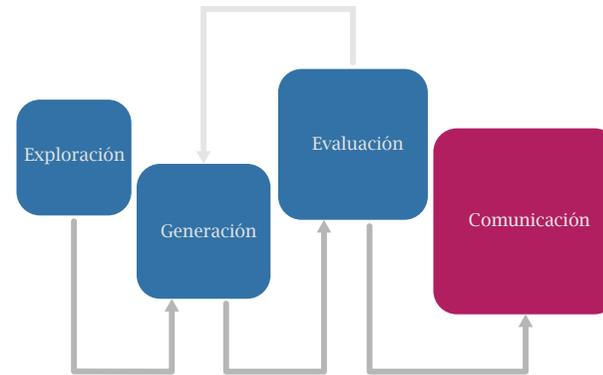


Figura 7.2: Ilustra el modelo de Cross, basado en el diagrama de Egado, el problema es integrado en la fase de exploración y existe una iteración.

7.3. Modelo de Asimov

Este método no da el panorama hasta el ciclo final del producto (ver Fig. 7.3), fase que a veces es ignorada en algunos otros procesos y que es fundamental en el caminar de la sustentabilidad que tanto debemos tomar en cuenta (123).

7.4. Modelo de Archer

En este modelo (ver Fig. 7.4) se puede identificar la fase creativa, la fase analítica de entrada es comprendida por tres procesos, la planeación la recopilación de datos y el análisis de estos, la fase creativa es identificada como el desarrollo y la síntesis y como resultado tenemos el proceso de comunicación (123).

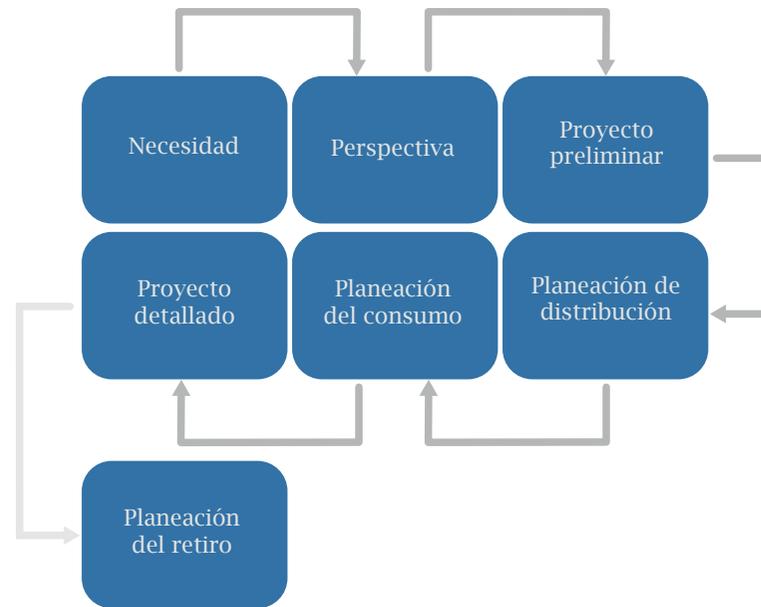


Figura 7.3: Ilustra el modelo de Asimov basado en el diagrama de Egido, es el único que contempla la planeación del retiro del producto de Diseño

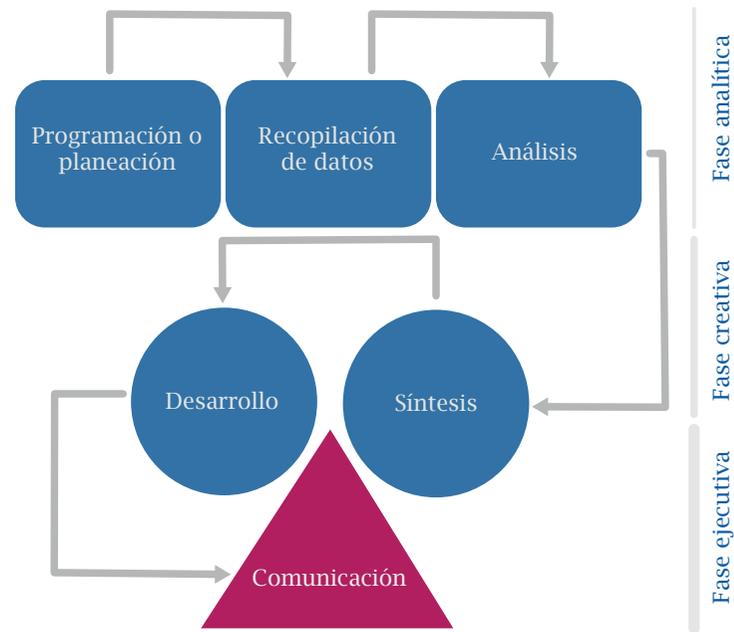


Figura 7.4: Ilustra el modelo de Archer basado en el diagrama de Egado, distingue tres fases principales, la analítica, la creativa y la ejecutiva.

7.5. Modelo de Pahl y Beitz

Este complejo modelo (ver Fig. 7.5) se divide en cuatro fases que son:

- La clarificación de la tarea. En donde se recopilan los datos de las restricciones que tienen que ser parte de la solución de diseño.
- Diseño conceptual. Proyección de soluciones preliminares, desarrollándose conceptos, variaciones y combinaciones de éstos.
- Diseño para dar forma. Los diseños preliminares de acuerdo a los criterios técnicos y económicos, éstos se optimizan, completan y verifican, para proceder con la documentación preliminar.
- Diseño de detalles. Se proyectan las características finales del producto y se plasman en una documentación completa (123).

7.6. Modelo Verein Deutscher Ingenieure - Asociación Alemana de Ingenieros

Este se caracteriza por seguir un orden lógico; de tal manera que el proceso es claro y adaptable al Diseño en general (ver Fig. 7.6). Cada etapa se vuelve consecutiva (123).

7.7. Modelo Simétrico

El proceso es un ciclo continuo entre el problema y la solución (ver Fig. 7.7), donde del problema se pueden derivar problemas secundarios y por lo tanto soluciones secundarias (123).

Los métodos de Diseño como se ha mencionado, comprenden un valor académico, aún así pueden ser rechazados, esto es debido a las exigencias y ritmos de trabajo. De los métodos se puede decir que tienen un alto potencial para identificar las partes del problema de Diseño, libertad que nos puede ayudar a comunicar los resultados de una mejor manera, identificar rápidamente la factibilidad de los puntos críticos de un proyecto; los métodos finalmente nos brindan factibilidad.

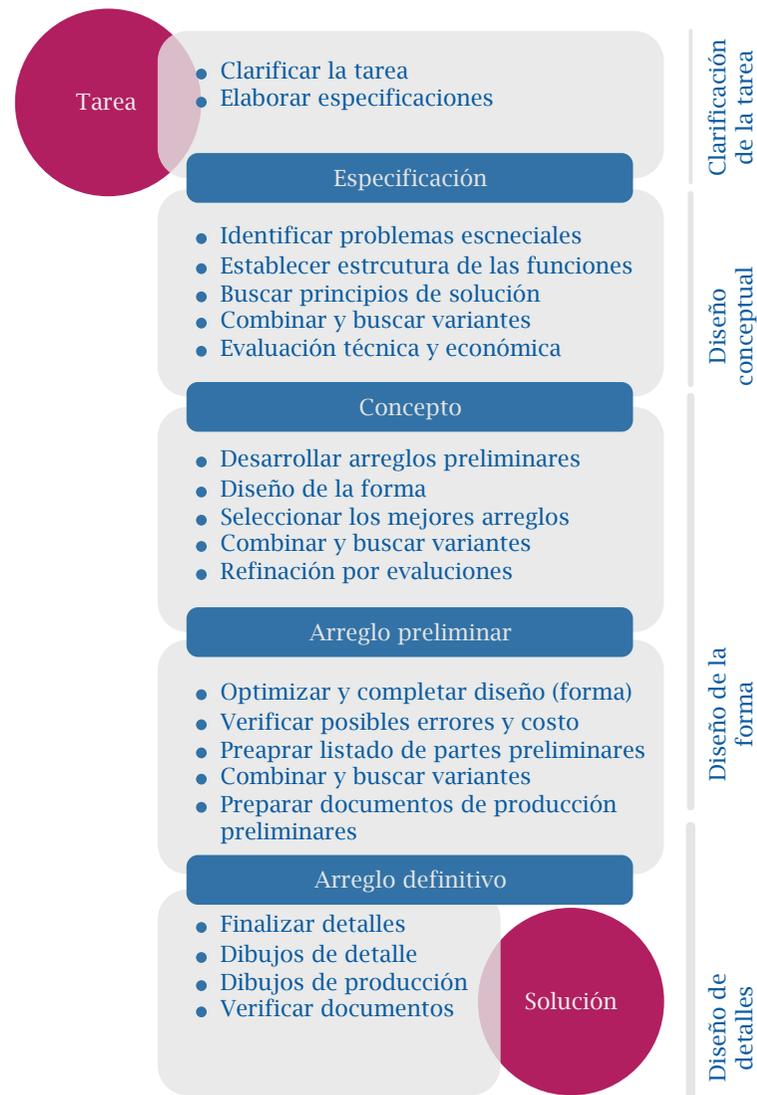


Figura 7.5: Ilustra el modelo de Pahl y Beitz, basado en el diagrama de Egidio, que se compone de cuatro fases principales, la clarificación de la tarea, el Diseño conceptual de forma y los detalles.



Figura 7.6: Ilustra el modelo de Vereim basado en el diagrama de Egado, tiene cuatro fases principales, planeación, bosquejo, Diseño y elaboración.

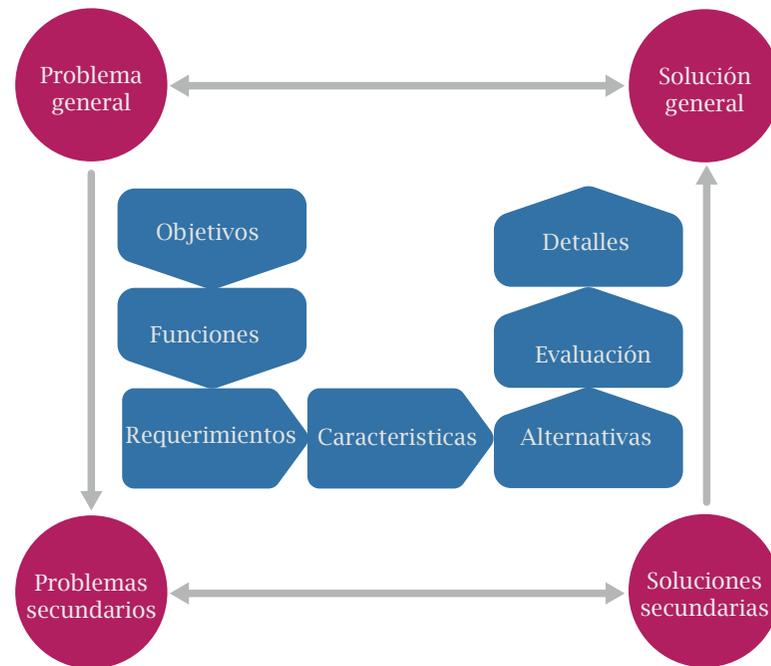


Figura 7.7: Ilustra el modelo Simétrico basado en el diagrama de Egado, se distinguen distintas iteraciones entre sus componentes principales.