

Fecha de recepción: diciembre 2024

Fecha de aceptación: enero 2025

Versión final: febrero 2025

Nuevos desafíos en la formación del arquitecto frente a la automatización del diseño y fabricación robótica en relación a procesos creativos y productivos

Karen Gutiérrez Dumont ⁽¹⁾

Gabriela Pérez Iturra ⁽²⁾

Resumen: Desde los cambios que suscitan la industria AEC, como la productividad, y la problemática de potenciar espacios creativos en profesionales dadas las proyecciones de ser reemplazados por mano de obra robotizada, se presenta una investigación basada en una metodología de trabajos exploratorios con estudiantes de taller de segundo año de arquitectura, que permitan definir mayores posibilidades de diseño, bajo estrategias proyectuales de fabricación robóticas que define sus propuestas finales de anteproyecto. Se concluye definiendo posibles metodologías de implementación en el uso de nuevas herramientas de modelado y diseño de proyecto, revisando sus dificultades y beneficios, en procesos de aprendizaje.

Palabras clave: creatividad - productividad - fabricación digital - diseño paramétrico

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 152-153]

⁽¹⁾ **Karen Gutiérrez Dumont.** Arquitecta y escultora certificada en gestión tecnológica de MIT, Magíster BIM y Magíster en Educación Superior UNIACC. Fundadora de Molecularq, su experiencia fusiona lo técnico y tecnológico en el desarrollo de proyectos de infraestructuras públicas y privadas, planificación y coordinación de especialidades y construcción desde BIM, y en investigaciones desde la fabricación digital. Se desempeña como académica en USACH y UNIACC en Santiago de Chile.

⁽²⁾ **Gabriela Pérez Iturra.** Artista Visual de la Universidad UNIACC y Magíster en Ciencias del Diseño de la Universidad Adolfo Ibáñez (C). Actualmente se desempeña como Creative Space Assistant en una institución privada. Desarrolla sus investigaciones desde el mundo físico, herramientas digitales y modelación 3D, la fabricación digital y los mundos virtuales.

Introducción

El siguiente documento busca representar el proceso y resultados de la investigación que ha sido parte del Concurso de Investigación Eje A “Investigación en educación y mejoramiento continuo de la docencia” de UNIACC (Universidad de Artes, Ciencias y Comunicaciones), que comienza comprendiendo los cambios que se están produciendo en la implementación de nuevas tecnologías y su introducción en aulas de clases de la carrera de arquitectura.

La fundamentación de potenciar ambientes creativos surge de entender, qué marca la diferencia en un profesional creativo, y la relación entre el proceso creativo y productivo, donde el proceso creativo se estima está supeditado al proceso de construcción de la forma misma. Lo que se materializa posteriormente, estaría determinado por variables digitales y que, en algunos casos, no permiten que la forma que se imaginaba se concrete totalmente en un proyecto acabado.

Se aborda el proceso de creatividad como un fenómeno importante a potenciar. Joaquín Fuster (Newmedia, 2014) explica la creatividad como aquel proceso neuronal hijo de la libertad, sin libertad no se puede imaginar, ni crear, ni definir nada novedosamente. Menciona cómo la creatividad se desarrolla en la corteza prefrontal que es la última en desarrollarse en el transcurso de la evolución del individuo, y cómo este fenómeno de adaptación hace prever hechos. Si este fenómeno es desarrollado en libertad, permite predecir sucesos de manera creativa, lo que supone es el primer paso al proceso de creación e innovación, permitiendo definir el fenómeno de creatividad como aquella facultad del ser humano de poder ser único (ante la comparativa de la característica en relación con los robots), individual y biológicamente innovador (Maturana, 2009).

Por otro lado, hay dos situaciones que analizar, el proceso análogo a través del dibujo, y el proceso digital a través del modelo desarrollado por software de modelamiento arquitectónico. Este proceso plantea la primera interrupción dentro de la problemática, los softwares de modelado no siempre permiten fácilmente la maleabilidad de la forma y el acercamiento a formas más complejas. De este modo, se define la primera problemática, cómo potenciar la representación formal volumétrica de las ideas de proyecto en formatos digitales sin sentir la restricción de la forma producto de la herramienta digital.

En una segunda instancia, lo que sigue es definir una propuesta de proyecto viable y construible, lo que eventualmente evidencia un quiebre en el proceso, en donde al pasar la propuesta y pensarla fabricable y/o construible en un material definitivo, pareciera que no es fácil de resolver si es desarrollado el volumen con formas complejas. De este modo, la segunda problemática a resolver es que la propuesta volumétrica formal sea viable en su construcción y/o fabricación.

Como tercer punto a analizar, es entender el por qué es importante comenzar a preguntarse por este tema de investigación para la formación de futuros arquitectos. Esto surge para entender cómo es posible plasmar ideas de proyecto creativas e innovadoras desde la práctica y el uso de software que permitirán o no poder representar dichas ideas.

De este planteamiento, surgen las preguntas de investigación, la búsqueda de aspectos relevantes relacionados a la incorporación de tecnologías en procesos que, hasta el momento, son de índole análoga y realizables por la mano humana, y su implementación en

el diseño de proyectos, visualizando la posterior construcción en manos de la fabricación robótica materializada a través de la impresión 3D.

La hipótesis se basa en comprender si es posible qué mediante la formulación de proyectos en etapa de anteproyecto, pensados desde una morfología compleja y construidos mediante la fabricación robótica, sea posible potenciar la creatividad formal-volumétrica del diseño, dada la gran variedad de posibilidades que brinda el manejo de robots a la hora de poder manipular la plástica y/o formas del volumen.

De este modo se define un objetivo general que busca explorar en talleres de la carrera de Arquitectura, el desarrollo de nuevas capacidades y posibilidades volumétrica-espaciales en proyectos, mediante el uso de herramientas de modelamiento en etapa de diseño, con proyección de su construcción, mediante la fabricación robótica aditiva, como una forma de potenciar la automatización de procesos. Para ello los objetivos específicos persiguen explorar a través de ejercicios, investigar herramientas de diseño, y experimentar a través de trabajos de diseño de proyectos, para concluir como la fabricación robótica es un potencial en el diseño creativamente y el proceso de construcción.

Finalmente se postula desarrollar la investigación basada en la formulación de anteproyectos teóricamente construido con fabricación robótica, donde el sujeto de estudio son estudiantes de segundo año de la carrera de Arquitectura. Para ello, la metodología de la investigación se ha definido bajo cuatro líneas de acción, a través de la investigación bibliográfica, la investigación experimental y trabajo de campo con un workshop y trabajos de shock, entrevista, charlas de conocimientos, y finalmente las encuestas a estudiantes.

1. Estado del arte

La industria AEC está enfrentando una crisis mundial, en donde aspectos como la baja productividad, apuntan a problemáticas que impiden la modernización del segmento. Es probable, que con la crisis sanitaria del covid se haya incrementado la ventaja respecto a la automatización de los procesos (Consulting, octubre 2020), lo que genera en las empresas un cambio, impulsando la automatización, proyectando un 30% dentro de los años que vienen (Archdaily, s.f.).

De lo anterior, se estima que un 44% del mercado laboral mundial del sector de la construcción, sea potencialmente desarrollado bajo procesos automatizados, según estudios previos a la pandemia desarrollado en 54 países por McKinsey Global Institute (Archdaily, s.f.), sin embargo, hoy no es viable abordar el 100% de lo esperado y se preservarán actividades relacionadas a tareas esenciales únicamente al uso de mano de obra humana. Gobiernos como Chile, promueven la productividad e innovación en relación a la industria AEC, con iniciativas como Construye 2025 de CORFO (CORFO, 2022), que buscan desarrollar líneas de innovación en función de espacios tecnológicos.

Por otro lado, es fundamental preguntarse si la conceptualización del término “innovación”, definido por Neri Oxman en el Ciclo de Krebs, el cual lo define como “un marco que considera los dominios del arte, la ciencia, la ingeniería y el diseño como formas sinérgicas de pensar y hacer” (Oxman, 2020).

De lo anterior Oxman (Oxman, 2020) menciona:

La ciencia explica y predice el mundo que nos rodea, convirtiendo la información en conocimiento; la ingeniería aplica el conocimiento científico al desarrollo de soluciones para problemas empíricos, convirtiendo el conocimiento en utilidad; el diseño produce soluciones que maximizan la función y aumentan la experiencia humana, convirtiendo la utilidad en comportamiento; y el arte cuestiona el comportamiento humano y crea conciencia del mundo que nos rodea, convirtiendo el comportamiento en nuevas percepciones de información, presentando nuevamente los datos que inició el ciclo, en la ciencia.

De lo anterior, comprender las facultades que implica el innovar y por consecuencia el proceso creativo, mencionando que se es más innovador en la medida que se es más creativo; y del estudio que menciona que los procesos creativos desencadenan condiciones óptimas de innovación al estar comprendidos en ambientes que propicien el fenómeno de creatividad (Tschimmel, 2009).

2. Marco teórico

La fabricación robótica hace referencia al proceso de robotización el cual implica el uso de robots en los procesos de producción. Como parte de la Industria 4.0 la cual se formula desde los “nueve pilares: Robótica 4.0 (Cobots), Big Data, simulación y realidad virtual, fabricación aditiva, ciberseguridad, cloud computing (la nube), internet de las Cosas (IoT), sistemas ciberfísicos y robótica, integración y realidad aumentada” (Edsrobotics, 9 Pilares tecnológicos de la Industria 4.0, 2022), y siendo la robótica uno de los pilares de este proceso industrial, se proyecta que el sector productivo, transforme procesos tradicionales a procesos que sean ejecutados mediante fabricación robótica.

La ventaja de trabajar procesos robóticamente se da porque procesan la información como si fuesen humanos, cometen menos errores, y es posible exponerlos a trabajos peligrosos y repetitivos. Por otro lado, los robots son capaces de simplificar tareas, desarrollar procesos minuciosos, complejos y analíticos, son una herramienta fundamental para lograr objetivos como la eficiencia de los procesos, la mejora de la calidad del producto y aumentar la productividad.

Y aunque tiene desventajas, como que en la práctica es muy difícil de aplicar dado sus altos costos, por ello se ejecuta mayormente en el campo de la investigación académica y empresas de diseño personalizado, brinda mayores posibilidades de trabajo creativo en torno a la forma final de un proyecto y reduce los residuos al tener mayor manejo y planificación de esta¹.

Otra de las ventajas de la fabricación robótica, es la capacidad de generar principalmente geometrías complejas, eso explica Leonardo Nuevo Arenas, jefe de diseño computacional de Kinética (Group, 2022) respecto de un muro escultórico que fue un trabajo realizado para la oficina de Zahad Hadid (Digital Futures, s.f.). Para ello, Kinética, siendo una

empresa de desarrollo de diseño industrial que ofrece soluciones personalizadas, busca la trascendencia del diseño. Se resuelven los requerimientos de los trabajos desde una técnica mixta, en donde se combinan procesos de fabricación digital, con procesos de fabricación convencional, un esquema híbrido, que se resuelve a través de tomar las ventajas de un método digital, y de un método convencional para hacer el proyecto realidad. Entonces diseñar, es tomar toda la información, analizarla hasta transportarla y adecuarla a un proceso de fabricación, el cual permite la optimización de la geometría, a través de las posibilidades que esta permite como extender la capacidad de crear formas más complejas. Para que esto suceda es fundamental optimizar la forma o geometría (GO, Geometry Optimization) de cada proyecto, y poseer una repetitividad o patrón, sin sacrificar la intensidad arquitectónica.

Los procesos convencionales no tienen la posibilidad de poder adaptarse tan rápido, esa es una de las grandes ventajas de la fabricación digital, que, si bien es en muchos casos investigación experimental, permite mediante las simulaciones, modelos 3D, scanner láser y otras tecnologías, adaptarse y resolver problemáticas en menos tiempo y con mejores resultados. Un ejemplo es Strong by form (form, 2023), empresa chilena, que combina materiales naturales como la madera con tecnología digital y fabricación robótica, con el fin de volver más sustentables a las industrias, por ejemplo, la construcción o la movilidad. Desde 2018, han trabajado en distintos prototipos de un biocompuesto, a base de maderas y resinas, con múltiples atributos físicos y cualitativos. Algunas características que han logrado son la liviandad, el espesor y la resistencia, además de poder proporcionar rigidez. Todo esto es posible gracias a Woodflow, tecnología que permite el uso de compuestos a base de madera para su aplicación en alto rendimiento.

En cuanto a la automatización, hoy en día se puede observar desde investigaciones guiadas por dos vías: por un lado, las tareas específicas que pudieran ser automatizadas dentro de procesos que son tradicionales de realizar, y, por otro lado, se espera poder crear un proceso de construcción que pueda ser realizable totalmente por tecnologías y la incorporación de nuevos materiales. De este modo, la fabricación digital², desarrollada como manipulación robótica o fabricación aditiva, permite grandes posibilidades para progresar en cuanto a los procesos de construcción.

Ante ello Edsrobotics (Edsrobotics, 9 Pilares tecnológicos de la Industria 4.0, 2022) menciona:

Existen un par de matices por los que la fabricación aditiva y la impresión 3D se diferencian. Podríamos decir que la primera abarca a la segunda y que la segunda es una técnica de fabricación aditiva ¿Por qué se le denomina así? Porque los dispositivos con los que se fabrica van añadiendo capa tras capa para crear el producto final. La impresión 3D es una técnica revolucionaria pues no se necesitan grandes inversiones de capital para fabricar patentes o prototipos de productos e incluso estos se pueden crear de manera “casera”. Es decir, cualquiera puede fabricar bienes en casa con una impresora 3D.

Hay un consenso en torno a la idea de que la automatización permitirá una era de diseño cada vez más personalizada ya que permite precisión y exactitud en todos los procesos de construcción, presentando importantes ahorros de tiempo. En su mayor parte, la complejidad geométrica de un componente no tiene relevancia en numerosos procesos de construcción robótica y no impacta en los costos, facilitando así el desarrollo de formas complejas. La automatización abre la posibilidad de investigar nuevas formas estéticas, remodelando tanto el diseño como el proceso constructivo, permitiendo desarrollos con mayores posibilidades de diseño, además permite personalizar distintas opciones volumétricas.

Proyectos colaborativos como On Site Robotics³, de IAAC con Tecnia, tienen como objetivo revisar potencialidades de la tecnología a través de la fabricación aditiva y la robótica, con el fin de poder construir edificios sostenibles impresos en 3D, permitiendo fabricar piezas grandes y bajar costos con materiales naturales. El diseño es realizado bajo script customizado integrado en software CAD, lo que permite formas complejas de diseño 3D y conectarlo a las trayectorias robóticas, que es un proceso automatizado por el movimiento de un extrusor en 3D⁴.

En referencia al libro *Anaquele de manufactura aditiva* (Arcos, 2022), que materializa una investigación sobre impresión 3D en hormigón, profundiza en la impresión tridimensional en materiales cementosos y arcillosos, y lo que ello permite en cuanto a la libertad formal, con el fin de obtener nuevos lenguajes arquitectónicos. El libro reflexiona en torno al desarrollo de trabajos de laboratorio llevados a proyecto basado en manufactura aditiva. El objetivo, es definir distintas variables de trabajo derivadas de la memoria de ensayos de distintos académicos, quienes reflexionan en torno a las metodologías que se experimentaron y que finalmente se registran en un trabajo de ensayo con distintas pruebas, las cuales colaboran en el desarrollo del libro, que permite ser una guía respecto de la manufactura aditiva. En *Develando la casa impresa 3D*, Rodrigo García comenta, respecto de las distintas variables y la adaptabilidad que se pudiera dar en la vivienda, con el fin de que sea comprendido como un medio para generar un “proceso residencial diverso y emancipador”. En este sentido, la libertad formal y la capacidad de construir geometrías complejas a muy bajo costo y esfuerzo propias de la manufactura aditiva, la posicionan como una alternativa idónea para llevar adelante dicho postulado (Arcos, 2022). Esta versatilidad de la técnica es la que deja abiertas las posibilidades de tener muchas variables geométricas a la hora de diseñar.

En cuanto a la revisión de casos de estudios, y referentes para el desarrollo del modelado, estos se centraron en Glass II, Fab Lab MIT⁵, trabajo interdisciplinario que reúne distintos aspectos como el diseño, ingeniería y ciencia. El objetivo de esta investigación es identificar las capacidades y las limitaciones de las plataformas de impresión, y, por otro lado, definir parámetros efectivos para fabricar piezas en vidrio, dar respuestas desde distintos usos del vidrio, comportamientos que este tiene y aspectos como la estructura y el cerramiento. Para ello se desarrolló una impresora 3D que imprime vidrio y con ello poner a prueba diseños a partir de software.

El software utilizado para el modelo 3D fue Rhinoceros 5.0 y en Grasshopper Build 0.9.76.0. Los modelos CAD fueron realizados mediante la trayectoria en coordenadas cartesianas en G-Code (lenguaje de programación utilizado para controlar con precisión una máquina automatizada), lo que se constituyó en referencia de esta investigación.

3. Metodología

Dada la incidencia del tema, se desarrolló una metodología basada en una investigación acción de tipo exploratorio. Para ello se determinaron líneas investigativas basadas desde lo cualitativo, de carácter exploratorio y especulativo, a través de la investigación experimental, entrevista y revisión bibliográfica. Estas líneas investigativas profundizan desde el ámbito de la información que entrega las experiencias docentes, la experiencia de estudiantes y la investigación de autores.

3.1 Recolección de experiencias y plan de acción

Se definieron cuatro fases como parte del plan de acción: preparatoria, trabajo de campo, analítica e informativa. La fase de trabajo de campo fue donde se hizo la recolección de experiencias. Se desarrolló en un ambiente académico, clases de taller de arquitectura de segundo año, para poner a prueba las posibilidades de diseño que permitirían formular un anteproyecto definido constructivamente a través de la fabricación robótica (aditiva), para un posterior proceso de impresión 3D de los modelos a escala.

Los ejercicios fueron de carácter creativos y que permitieran al estudiante resolver problemáticas que lo acerquen a la reflexión mediante un proceso creativo hasta una propuesta proyectual, esto aplicado de manera análoga y tecnológica (herramientas de representación gráfica). Se ejecutaron dos tipos de ejercicios, de shock⁶, constan de la experimentación bajo Inteligencia artificial para la búsqueda de referentes formales que acercaran a la idea de proyecto. Este proceso se desarrolló en base a la utilización de ChatGPT y Midjourney; y los workshops colaborativos, que buscaban el desarrollo de capacidades en torno al modelado y diseño a través de software. Este ejercicio materializa la idea de anteproyecto, poniendo a prueba la solución final de la forma espacial que extrajeron en los ejercicios de shock. Otro objetivo que perseguía el ejercicio era experimentar posibilidades de diseño, buscar diseños complejos pensado en que fuera construido a través de fabricación robótica. Este ejercicio permitió probar y/o proyectar un anteproyecto viable y creativo.

El uso de las herramientas digitales de diseño fue desarrollado en función de buscar mayores posibilidades de diseño, optando a utilizar herramientas como: Rhinoceros, Grasshopper y Revit. Finalmente, la fabricación robótica que fue comprendida teóricamente aportó como una solución constructiva que facultaba poder desarrollar el proyecto guiado por formas complejas, concretado el modelo final a escala, a través de procesos de impresión 3D.

4. Resultados

Los resultados responden a la observación, comprensión y análisis final, del desarrollo de los procesos creativos de los y las estudiantes enfrentados a nuevas tecnologías y metodologías de diseño como lo es la Inteligencia artificial, el uso de los Prompt y herramientas de modelado 3D, lo que permitió conducir las acciones para los ejercicios de shock y work-

shop, permitiendo entender los procesos creativos y la materialización de estos, a través de los proyectos finales de diseño y la impresión 3D.

La fabricación robótica, abordada teóricamente como factor determinante y constructivo del anteproyecto, ayudó a poder resolver cómo se construiría cada proyecto, y otorgar mayor libertad en la morfología de la forma, evidenciando la importancia de comprender cómo se resuelve el prototipado, las partes y la estructura, permitiendo libertad a la hora del diseño de manera controlada y consciente del producto final.



Imagen 1. Registro fotográfico AI Midterm Taller IV Arquitectura.

Fuente: Gutiérrez, K. Mayo, 2023. Santiago, Chile.

La experiencia de poder trabajar con Inteligencia artificial aportó más opciones de diseño o nuevas ideas a través de las imágenes, sin embargo, no resuelve el anteproyecto. También les planteó problemas, la viabilidad de estas formas o cómo se resuelven estructuralmente. La Inteligencia artificial proporcionó ayuda en cuanto a la propuesta formal, sin embargo, no es una solución totalitaria. En todo el proceso es el criterio del estudiante el que predominó, influyó y determinó la forma final del anteproyecto. Desde esa mirada, no perjudica ni define la propuesta, solo colabora permitiendo al estudiante examinar alternativas de diseño volumétrico, permitiendo que el aprendizaje no esté basado totalmente en la solución formal que propone. (Imágenes 3 y 4)

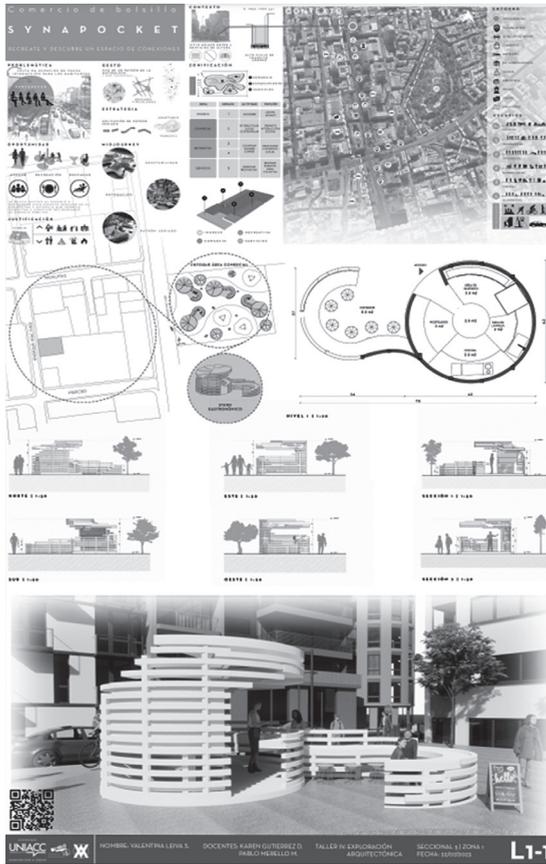


Imagen 2. Registro fotográfico Entrega final Taller IV Arq. SP. Fuente: Gutiérrez, K. Julio, 2023. Santiago, Chile.

En cuanto al modelado paramétrico, estos aportes fueron relevantes a la hora de definir qué herramienta de diseño utilizar. Las herramientas de diseño paramétrico permitieron acercarse al diseño de formas más complejas, sin embargo, la curva de aprendizaje es lenta, siendo Grasshopper, el que requiere de más tiempo para poder dominarlo. A pesar de ello, permitió resolver formas complejas y acercarse a la idea planteada.

La impresión 3D como planteamiento analógico a la fabricación robótica, si colaboró a pensar e idear las propuestas bajo condiciones que guiaban la viabilidad del proyecto. Permitted comprender y experimentar aún más en detalle el modelo y el diseño, abordando situaciones como si fueran en el real, resolviendo el proyecto como un artefacto espacial a escala. (Imagen 2)

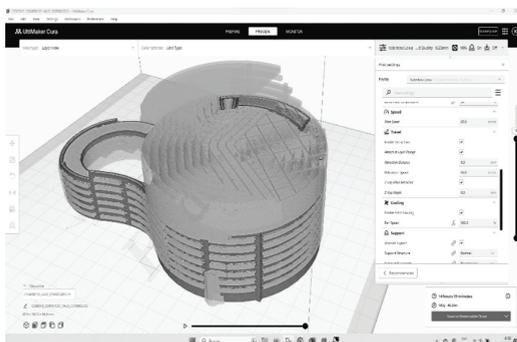


Imagen 3. Registro fotográfico Proceso impresión 3D. Fuente: Gutiérrez, K. Julio, 2023. Santiago, Chile.

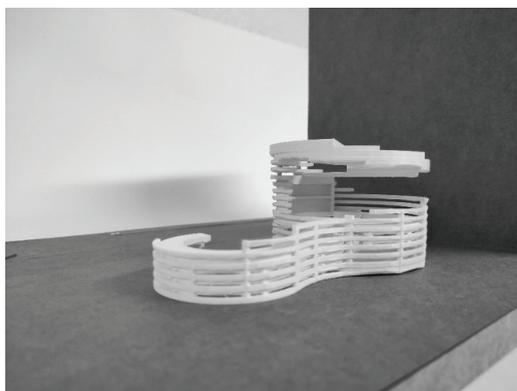


Imagen 4. Registro fotográfico Entrega final Taller IV Arq. SP. Fuente: Gutiérrez, K. Julio, 2023. Santiago, Chile.

5. Discusión y conclusiones

Se concluye que el proceso de investigación referido a las posibilidades teórico-formales que proporciona la fabricación digital influye positivamente en los y las estudiantes, posibilitando los de mayor libertad en cuanto a las formas tradicionales, validando opciones de diseño.

En referencia al proceso de diseño, este se formuló con objetivos concretos, sin embargo, las actividades particulares se fueron revelando durante el desarrollo del proyecto. Ello permitió experimentar con una reciente Inteligencia artificial (AI). La estrategia de poder aportar con referentes formales en el proceso de desarrollo del anteproyecto, a través de la Inteligencia artificial, permitió descubrir nuevas formas de diseño. Sin embargo, eso no era suficiente para la solución final de la forma del anteproyecto, dado que la AI no era capaz de discriminar si estos proyectos eran viables o no, tanto en su construcción, programa y espacio habitable. Fue más bien, un muy buen ejercicio, que les permitió poner en práctica los contenidos entregados como parte fundamental de la asignatura.

Las herramientas de diseño y modelamiento permitieron mayor soltura de la forma. Hubo un impacto positivo en cuanto al uso de herramientas de modelamiento, les permitió mayor libertad en cuanto al diseño, formas cercanas a lo esperado para la materialización de sus ideas de proyecto.

La impresión 3D que llegó como proceso final del taller, surgió como una alternativa para concretar e ir midiendo la viabilidad del proyecto. Pensar que sus propuestas debían ser impresas, hizo que se preguntarán por cómo se construiría.

Preguntarse, entonces, si diseñar pensando que será fabricado digitalmente, permite ser más productivos y creativos, es afirmativo, eventualmente si, facilitó el proceso de pensar la forma, el cómo se diseña y cómo se fabrica, abordando todo el proceso de manera consciente a cada etapa permite ejecutar un proyecto más cercano a la idea. La revisión de este proceso evidenció la importancia de atender, procesos previos que llevan a una buena idea de proyecto (aquella idea innovadora y creativa, más allá de que sea correcta, sino que arriesgue en cuanto a forma e innovación de materiales).

Por otro lado, lo más enriquecedor y el mayor aporte de la investigación, no es lo que se pueda concluir de ella, sino más bien las experiencias del proceso metodológico desarrollado. Desde ese proceso se puede evidenciar grandes aportes a cómo ir desarrollando mecanismos de enseñanza en función del cómo abordar herramientas de diseño, sus ventajas y desventajas, las cuales se deben medir según los aprendizajes de los y las estudiantes.

Finalmente es posible afirmar que, si bien un proyecto busca eventualmente ser viable en su construcción, y la problemática a investigar se centra en que los proyectos de representación de formas más complejas son difíciles de modelar digitalmente y construir físicamente, el asumir el uso de la fabricación robótica del proyecto como una posibilidad, (de manera conceptual) permite el desarrollo y mayor libertad respecto del proceso de creación. Entonces ya no es un problema el cómo se va a construir el proyecto. Aunque hay que observar que probablemente no es una respuesta global a todos los procesos, ya que decir que un brazo robótico lo va a fabricar, no será suficiente, porque eso implica otros procesos más complejos.

5.1 Innovación, fenómeno de creatividad y aportes

Dado que se espera que con los avances tecnológicos se reemplacen puestos de trabajo, es de suma importancia promover espacios creativos e innovadores como parte del desarrollo de cualquier profesional, para poder potenciar capacidades que son propias del ser humano.

Al implementar ambientes tecnológicos se debe considerar ciertas condiciones observadas durante la investigación, las cuales operaron desde el diseño digital a procesos productivos automatizados (impresión 3D). Ante lo cual, y para mantener y potenciar el fenómeno de creatividad, se debe contemplar abordar dos aspectos relevantes:

1. Impulsar capacidades creativas que no serán reemplazadas por los trabajos repetitivos y productivos de las máquinas.
2. Potenciar los procesos creativos para efectuar y promover espacios de innovación.

Para lo anterior la creatividad debe ser comprendida como un fenómeno, un sistema creativo en sí, dado que depende de variables, influencias y estímulos externos y del contexto sociocultural en donde se mueva el individuo. Ese contexto sociocultural otorgará motivaciones que dependerá del entorno y de cómo este individuo se conforme. (Tschimmel, 2009) Cada ser humano es biológicamente creativo. Los individuos al manifestar su instinto de supervivencia no solo reconocen su nicho ecológico (Maturana, 2009) y su entorno exterior, sino, además, el mecanismo de supervivencia referido a la motivación de los estímulos externos es lo que permiten en el individuo innovar, crear para sobrevivir, aquel proceso de creación e innovar que es propio de los seres humanos. El Ciclo de Krebs de Oxman⁷, lo menciona y comprueba a través de la explicación de cómo se transforma el conocimiento, el que se transmite en un conocimiento completo e íntegro que va a venir de la mano de la comprensión de la información a través del entendimiento de este conocimiento de manera interdisciplinaria. Las ciencias tomarían el conocimiento desde el arte, y lo transformarían en conocimiento. Luego lo inventa, a través de la ingeniería, el diseño aporta con un comportamiento y el uso cultural de lo que se esté innovando y claramente, el arte vuelve en este ciclo a cuestionarlo. Entonces, se es biológicamente creativo a través del innovar⁸ y, además, se pueden buscar espacios para ello.

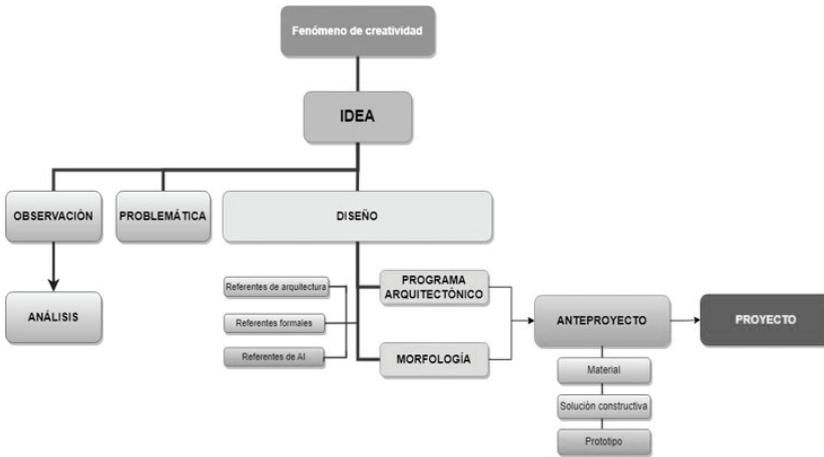


Imagen 5. Proceso para la generación de la idea de proyecto.

Dentro del proceso de la investigación se ha definido una metodología basada en experiencias de aprendizaje las cuales se alinearon a las siguientes acciones como definir líneas críticas y reflexivas en cuanto a las herramientas tecnológicas, sus limitaciones y restricciones. Finalmente es posible decir que, para la generación de un proyecto, debería ser

planteado desde el fenómeno de creatividad, el cual parte desde la observación e identificación de la problemática, lo que permite la generación de la idea. Esa idea se materializa a través del diseño, el cual dependerá su desarrollo de las herramientas analógicas o digitales elegidas, una no es inhabilitante de la otra, se complementan. Ello en conjunto a los contenidos aprendidos, el programa arquitectónico, estudio de referentes sean estos desde la arquitectura y/o AI, entre otros, permitirá la generación de una idea de anteproyecto que, llevado a una posible solución constructiva y definición del material, pudiera definir un prototipo que permite el desarrollo de un proyecto eventualmente más creativo.

Notas

1. (AG, 2022). La fabricación aditiva o impresión 3D, permite fabricar componentes, los cuales pueden ser distintos en su morfología, utilizando la metodología de adición de material fundido, el cual es entregado por capa según las pautas de los datos del diseño digital. En este caso la impresión 3D incluye impresión por Sinterizado Láser Selectivo (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) o deposición de aglutinante (BJ), permitiendo fabricar con rapidez y precisión, lo que hace que sea una manera más económica de desarrollar prototipos producidas en serie.
2. (Formlabs, 2022) La fabricación digital es un proceso de trabajo de diseño y fabricación en el que los datos digitales permiten a los equipos de fabricación crear diversas geometrías de piezas. Estos datos suelen venir del CAD (diseño asistido por ordenador) que después se transfiere al software de CAM (fabricación asistida por ordenador). El producto del software CAM son datos que dirigen una herramienta específica fabricación aditiva y sustractiva, como una impresora 3D o una fresadora CNC.
3. (IAAC, 2022). Impresión 3D in situ de piezas constructivas de grandes dimensiones o pequeñas edificaciones mediante robots accionados por cable con el objetivo de revolucionar el Sector de la Construcción, reduciendo costes de fabricación y haciendo realidad la personalización de los productos finales. Gracias al uso de cables accionados por cabrestantes servocontrolados fáciles de montar, mantener y reconfigurar, la impresión 3D en espacios de trabajo muy grandes es una realidad
4. (IAAC, 2022) En un robot de cables COGIRO, que funciona mediante un control CNC controlados a través de cables servo-controlados por cabestrante.
5. Equipo de investigación: John Klein, Michael Stern, Markus Kayser, Chikara Inamura, Gorgia Framchin, Shreya Dave, Daniel Lizardo, Peter Houk. Prof. Neri Oxman. Colaboradores y contribuidores: Mary Ann Babula, P.T. Brun, Jeremy Flower, Wyss Institute at Harvard University, Rubix Composites, Skutt Kilns, The Glass Art Society, Center for Bits and Atoms, MIT Edgerton Center, MIT Central Machine Shop, MIT Mechanical Engineering Department, MIT Glass Lab.
6. Se entenderá como ejercicio de shock a trabajos ágiles y de corta duración los cuales buscan que él y la estudiante sea capaz de solucionar una problemática grupal o individual de manera rápida y poniendo a prueba los conocimientos previos adquiridos, más lo que se estén adquiriendo en la asignatura. Los ejercicios tuvieron carácter y énfasis en resolver

a través de los conocimientos adquiridos, una solución que deriva de un gesto -formal espacial y exploración volumétrica, que tiene como finalidad dar los primeros indicios del anteproyecto.

7. Lo que formula Oxman es que primero se genera, se consume y se regenera el conocimiento, dando forma al Ciclo de Krebs que se desarrolla a través del ATP, sustancias y procesos químicos en donde se produce energía creativa, lo cual también potencia la creatividad, y desde dónde surge la innovación.

8. Comprendiendo que la innovación tiene relación directa en la investigación con la tecnología, esta última es importante comprender sus definiciones. La versión corta menciona “la tecnología es la creación deliberada de objetos y procesos para resolver problemas de naturaleza humana” (MIT, 2023), y la extensa que dice “la tecnología es el conocimiento y la manifestación física de objetos y procesos asociados en sistemas creados de forma deliberada para resolver problemas específicos y superar las barreras humanas” (MIT, 2023), es posible mencionar que las tecnologías colaboran en ambientes creativos tecnológicos, como herramientas para mejorar los procesos, lo cual acerca a la innovación.

6. Referencias bibliográficas

- Archdaily. (s.f.). *Fabricación Robótica*. Obtenido de <https://www.archdaily.cl/cl/tag/fabricacion-robotica>
- Arcos, V. (2022). *Anaquel de manufactura aditiva*. Santiago de Chile: Arq Ediciones.
- Autodesk. (s.f.). *Página principal*. Recuperado mayo del 2020. Obtenido de www.autodesk.cl
- Calderón, D. (13 de agosto de 2021). *Sketchpad: software pionero en 3D*. Niixer. Obtenido de [https://niixer.com/index.php/2021/08/13/software-pionero-en-3d-sketchpad/#:~:text=Sketchpad%20fue%20el%20primer%20software,asistido%20por%20ordenador%20\(CAD\)](https://niixer.com/index.php/2021/08/13/software-pionero-en-3d-sketchpad/#:~:text=Sketchpad%20fue%20el%20primer%20software,asistido%20por%20ordenador%20(CAD)).
- Casalet, M. (2018). *La digitalización industrial*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas LC/TS.2018/95 Distribución: L Copyright © Naciones Unidas, 2018 Todos los derechos reservados Impreso en Naciones Unidas.
- Claudia Eugenin, I. N. (10 de February de 2022). Air Bubbles as an Admixture for Printable Concrete: A Review of the Rheological Effect of Entrained Air. *3D Printing and Additive Manufacturing 2022*. Volume: 9, págs. 64-80.
- Consulting, M. (octubre 2020). *Estudio de productividad: Impulsar la productividad de la industria de la Construcción en Chile a estándares mundiales*. Santiago de Chile: Cámara Chilena de la Construcción y Comisión Nacional de Productividad.
- Corfo, C. 2. (2022). *Programa construye 2025. Hoja de Ruta 2022-2025*. Santiago de Chile: Construcción, Instituto de la.
- Crespo, R. F. (2001). Hayek, Friedrich A. Von, The Sensory Order, The University of Chicago Press. *Revista Empresa y Humanismo Vol. IX, I/06,*, 167- 215.
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity. Flow and the Psychology of Discovery and Invention*: Paid's.

- De Bono, E. (1994). *El pensamiento creativo: el poder del pensamiento lateral*. Paidós.
- DigitalFUTURES. (s.f.). *DigitalFUTURES*. Recuperado el 23 de agosto del 2022. Obtenido de <https://digitalfutures.international/>
- Edsrobotics. (01 de 09 de 2022). *9 Pilares fundamentales de la Industria 4.0 . Cuáles son? | EDS*. Obtenido de 9 Pilares fundamentales de la Industria 4.0. Cuáles son? | EDS: <https://www.edsrobotics.com/blog/pilares-industria-4-0/>
- Edsrobotics. (01 de 09 de 2022). *9 Pilares tecnológicos de la Industria 4.0* . Obtenido de 9 Pilares tecnológicos de la Industria 4.0 : <https://www.edsrobotics.com/blog/pilares-tecnologicos-industria-4-0/>
- Edsrobotics.com. (01 de 09 de 2022). *Proceso de Robotización Industrial* . Obtenido de Proceso de Robotización Industrial : <https://www.edsrobotics.com/blog/proceso-de-robotizacion/#:~:text=La%20robotizaci%C3%B3n%20hace%20referencia%20al,la%20industria%20conocida%20como%204.0.>
- Emhandi, N. N. (Junio, 2021). *Bioarquitectura y fabricación digital*. Madrid, España.: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Facultad de Arquitectura, U. C. (2010). El micromundo informático autónomo. *Revista de Arquitectura*. Vol. 12. , 1-120.
- form, S. b. (14 de 12 de 2023). *Strong by form*. Obtenido de Strong by form: <https://strongbyform.com/>
- Formlabs. (01 de 09 de 2022). *Introducción a la fabricación digital*. Obtenido de Formlabs: <https://formlabs.com/latam/blog/fundamentos-fabricacion-digital/>
- Group, K. (01 de 09 de 2022). <https://kineticagroup.com/>. Obtenido de <https://kineticagroup.com/>: <https://kineticagroup.com/>
- Harrouk, C. (03 de marzo de 2021). *What is Architecture? Insights from Peter Cook, Anna Heringer, Moon Hoon, and Greg Lynn*. *ArchDaily*. . Obtenido de <https://www.archdaily.com/957803/what-is-architecture-insights-from-peter-cook-anna-heringer-moon-hoon-and-greg-lynn>
- IAAC, I. f. (01 de 09 de 2022). *On Site Robotics - Institute for Advanced Architecture of Catalonia*. Obtenido de On Site Robotics - Institute for Advanced Architecture of Catalonia: <https://iaac.net/project/on-site-robotics/>
- Institute for Advanced, A. (11 de abril de 2017). *On Site Robotics, el proyecto de IAAC y Tecnalia que lleva la robótica a la construcción*. *Archdaily*. Obtenido de https://www.archdaily.cl/cl/868331/on-site-robotics-el-proyecto-de-iaac-y-tecnalia-que-lleva-la-robotica-a-la-construccion?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all
- Institute, L. (04 de julio de 2022). *LISA Institute*. Obtenido de LISA Institute: <https://www.lisainstitute.com/>
- Kuka. (s.f.). *Fabricación aditiva e impresión 3D industrial*. Obtenido de <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/tecnolog%C3%ADas-de-procesamiento/impresi%C3%B3n-3d#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20fabricaci%C3%B3n%20aditiva,los%20datos%20de%20dise%C3%B1o%20digitales>
- Maturana, H. (2009). *El sentido de lo humano*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria S.A.
- Meneses, G. (2007). *Diseño y Fases de la Investigación. Interacción y aprendizaje en la Universidad*. . España: Universitat Rovira I Virgili. .

- MIT, P. E. (20 de mayo de 2023). *Professional Education, MIT*. . Obtenido de <https://www.campusdpp.mitpeonline.com/>
- Montjoy, V. (27 de agosto de 2022). *De biomateriales a estructuras portantes: hongos, algas y horquillas de árboles*. *ArchDaily*. Obtenido de https://www.archdaily.cl/cl/987612/de-biomateriales-a-estructuras-portantes-hongos-algas-y-horquillas-de-arboles?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all
- Newmedia, U. (27 de noviembre de 2014). Libertad, creatividad y neurociencia [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=bnRBuuWzWts&list=PLABlyeOt0fZjO5tEo6IUtD2nJ04pSw4b&index=1>.
- Nodoarte. (11 de diciembre de 2019). *www.nodoarte.com*. Obtenido de <https://nodoarte.com/2019/12/11/la-era-del-enredo/>
- Oxman, N. (2020). *Mediated Matter Catalogue*. EEUU: Editorial MOMA.
- Paola Antonelli, A. B. (Mayo, 2020). *The Neri Oxman Marial Ecology Catalogue*. New York: Moma.
- Perez, J. (8 de julio de 2024). *www.jp.com*. Obtenido de www.jp.com: www.jp.com/login
- Quintal, B. (23 de mayo de 2017). *69 Definiciones de Arquitectura*. *ArchDaily*. . Obtenido de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/871342/69-definiciones-de-arquitectura>
- Rosenmann Becerra, R. I. (Colombia, 2010). El micromundo informático autónomo: el peligro del contexto virtual en la conformación real de la arquitectura: tecnología, medioambiente y sostenibilidad. *Revista de Arquitectura. Red Universidad Católica de Colombia.*, Vol. 12.
- Stouhi, D. (11 de junio de 2021). *Bjarke Ingels Group y The Metals Company diseñan una instalación robótica de recolección de minerales de próxima generación*. *ArchDaily*. Obtenido de <https://www.archdaily.cl/cl/963087/bjarke-ingels-group-y-the-metals-company-disenan-una-instalacion-robotica-de-recoleccion-de-minerales-de-proxima-generacion>
- Tschimmel, K. (2009). *El proceso creativo desde la perspectiva de la creatividad como una capacidad sistémica*. Barcelo, España: Editorial Octaedro.

Abstract: Based on the changes brought about by the AEC industry, such as productivity, and the problem of promoting creative spaces in professionals given the projections of being replaced by robotic labor, a research based on a methodology of exploratory work with second-year architecture workshop students is presented, which allow to define greater design possibilities, under robotic manufacturing project strategies that define their final pre-project proposals. It concludes by defining possible implementation methodologies in the use of new modeling and project design tools, reviewing their difficulties and benefits, in learning processes.

Keywords: creativity - productivity - digital fabrication - parametric design

Resumo: Com base nas mudanças trazidas pela indústria de AEC, como a produtividade, e a problemática de potencializar espaços criativos em profissionais diante das projeções

de serem substituídos por mão de obra robotizada, apresenta-se uma investigação baseada em uma metodologia de trabalhos exploratórios com estudantes de segundo ano de arquitetura, o que permite definir maiores possibilidades de design, sob estratégias de projeto de fabricação robótica que definem suas propostas finais de anteprojeto. Conclui-se definindo possíveis metodologias de implementação no uso de novas ferramentas de modelagem e design de projeto, revisando suas dificuldades e benefícios, nos processos de aprendizagem.

Palavras-chave: criatividade - produtividade - manufatura digital - design paramétrico

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
