

Intersección entre diseño industrial, automatización, tecnología y construcción. Experiencia desde la Investigación y Aplicación de Impresión 3D en Concreto en Progreso, Guatemala

Manuel José Ovalle Bonilla^(*)

Resumen: El presente artículo aborda la intersección entre el diseño industrial, la automatización y la construcción, poniendo especial énfasis en la aplicación de la impresión 3D en concreto. Se examina el contexto del déficit habitacional y las barreras de la industria de la construcción en América Latina, se define la manufactura aditiva y se describen sus expectativas y retos. Finalmente, se analiza el rol del diseñador industrial como agente transformador en la integración de esta tecnología emergente, a partir de la experiencia de investigación y desarrollo en el “Centro de Investigación y Desarrollo” de Progreso.

Palabras clave: diseño industrial - automatización - manufactura aditiva - impresión 3D - construcción - innovación - déficit habitacional.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 169]

^(*) Licenciado en Diseño Industrial, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Asesor técnico, Investigación y Desarrollo (impresión 3D en construcción), Progreso, Guatemala. Catedrático Universitario, Facultad de Arquitectura en Universidad Francisco Marroquín Guatemala. Senior Designer en Movalle Studio (design personal brand). movalle@cempro.com / design@movalle.com

Introducción

El diseño es una disciplina transversal e intrínseca al proceso cognitivo humano. El acto de diseñar consiste fundamentalmente en generar soluciones conceptuales o materiales que aborden limitaciones y problemáticas de índole biológica, cognitiva y de escala humana. Inspirado por las ideas de Beatriz Colomina y Mark Wigley en *¿Somos humanos?*,

se plantea la interrogante: ¿empieza el ser humano a definirse cuando diseña para transformar su entorno con significancia e intencionalidad?, convirtiendo al objeto y al espacio construido en elementos interdependientes.

Esta disciplina posee una institucionalidad relativamente corta, ya que se le atribuye un nombre y campo de acción específico desde hace poco más de 100 años; sin embargo, reconociendo que la práctica de diseñar se originó mucho antes, su desarrollo y aplicación se han transformado en relación directa con las concepciones sociales, políticas y tecnológicas de cada época. Todos los seres humanos diseñamos de manera inherente, y al tratarse de una actividad cognitiva, esta se ve afectada por la construcción social del entorno y se limita por el conocimiento y los recursos disponibles.

Partiendo de esta premisa, el presente artículo narra y pone en perspectiva el accionar y la adaptación de habilidades como diseñador industrial en el proceso de automatización de la industria de la construcción mediante la manufactura aditiva de concreto u hormigón, desde el rol del autor como investigador.

1. Estado de la Industria y Déficit de Infraestructura en América Latina

1.1 Déficit Habitacional

Según el documento *“Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: Una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas en vivienda y hábitat”* de ONU Hábitat, el déficit habitacional es un indicador que describe la cantidad de viviendas necesarias para satisfacer las necesidades habitacionales de una población. Este concepto se divide en dos tipos principales:

- **Déficit habitacional cuantitativo:** Se refiere a la cantidad de viviendas nuevas que se requieren para que todos los hogares tengan un espacio digno. Incluye:
 - Hogares que no tienen acceso exclusivo a una vivienda.
 - Viviendas precarias o irrecuperables que necesitan ser reemplazadas.
- **Déficit habitacional cualitativo:** Se refiere a las viviendas existentes que no cumplen con los estándares mínimos de calidad. Incluye:
 - Viviendas con deficiencias en materiales de construcción.
 - Viviendas hacinadas o con insuficiente espacio habitable.
 - Viviendas sin acceso adecuado a servicios básicos como agua potable, saneamiento y electricidad.

Estos datos se obtienen principalmente de censos de población y vivienda, encuestas nacionales de hogares y registros administrativos. Ejemplos de cifras estimadas del déficit habitacional cuantitativo son:

- Argentina: 1,255,817 (Censo, 2010)
- Brasil: 6,900,000 (Censo, 2010)
- Chile: 495,390 (Encuesta CASEN, 2011)
- Colombia: 1,307,757 (Censo, 2005)
- República Dominicana: 360,000 (Oficina Nacional de Estadísticas, 2010)
- Guatemala: 712,100 (Hábitat para la Humanidad Guatemala, 2013)
- México: 9,675,006 (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, 2012)
- Nicaragua: 347,691 (Censo, 2010)
- Uruguay: 51,889 (Censo, 2011)

Estas cifras representan en estimación el número de viviendas necesarias para cubrir las necesidades de aquellos hogares que carecen de un acceso adecuado. Se citan estos datos dado que se espera que la automatización en la construcción prospectivamente pueda reducir esta brecha de infraestructura habitacional en la región, aun cuando su impacto directo aún está en fase experimental.

1.2 Barreras para la Automatización y la Eficiencia

La industria de la construcción presenta porcentajes de crecimiento y productividad menores que otras industrias. Según diversas fuentes (Banco Interamericano de Desarrollo, McKinsey & Company, Deloitte y WGBC), el sector:

- Contribuye con el 13% del PIB global y el 7,7% de los empleos (250 millones de puestos) (McKinsey & Company, 2020).
- En América Latina y el Caribe representa el 6% del PIB regional (aproximadamente US\$ 300,000 millones) y genera más de 20 millones de puestos de trabajo.
- En las últimas dos décadas, la productividad en construcción ha crecido solo un 1% anual, comparado con el 3,6% en manufactura y el 2,8% en agricultura (McKinsey & Company, 2017).
- Las empresas que adoptan tecnologías avanzadas han logrado aumentos de productividad del 10% al 15% y reducciones en costos operativos del 5% al 10% (Deloitte, 2021).

Asimismo, se destaca que el sector de la construcción consume el 50% de los recursos extraídos para materiales y el 15% del agua dulce utilizada, siendo responsable del 37% de las emisiones globales de CO₂ asociadas a la energía. Además, el 35% de los residuos sólidos generados a nivel mundial provienen de materiales de construcción (WGBC, 2023; Menegaki et al., 2018).

Las barreras identificadas incluyen:

- **Regulaciones y normativas estrictas:** La alta exigencia de códigos y estándares internacionales, junto con las particularidades geológicas de cada región, hacen que la validación e implementación de nuevas tecnologías requiera procesos largos.

- **Retos técnicos y logísticos:** La complejidad inherente a la construcción y la infraestructura local, especialmente en zonas sísmicas, limita la adopción de metodologías innovadoras.

Ante este contexto, se identifican tres campos de acción fundamentales para reducir la brecha en la automatización y digitalización de la construcción:

- Reducir la huella de carbono de la materia prima y maquinaria.
- Mejorar los tiempos de ejecución de las edificaciones, cumpliendo con las regulaciones constructivas, legislativas y requisitos geológicos/ambientales.
- Implementar nuevas tecnologías que automaticen tanto la planificación como la ejecución de obras.

2. Manufactura Aditiva para la Construcción

2.1 Definición

La manufactura aditiva para la construcción es una tecnología que utiliza hardware robótico (sistemas cartesianos o brazos robóticos) capaz de recibir coordenadas preprogramadas a partir de un modelo 3D CAD y replicarlas mediante recorridos llamados “perímetros”. Este sistema deposita en capas consecutivas un material cementante especialmente formulado para ofrecer alta estabilidad dimensional en estado fresco (reología parcialmente tixotrópica), permitiendo edificar estructuras prediseñadas en menor tiempo y con mayor libertad de formas en comparación con métodos tradicionales.

2.2 Expectativas Tecnológicas

Las principales expectativas de esta metodología son:

- **Reducción de tiempos de edificación:** La velocidad teórica de construcción es superior a la de los métodos tradicionales.
- **Optimización del personal:** Dependiendo del sistema y fabricante, la operación puede realizarse con equipos de 2 a 6 operarios para la “obra gris” o “obra cruda”.
- **Disminución de desperdicio:** Se utiliza solo el material necesario, reduciendo el consumo de agua y energía.
- **Innovación en el diseño:** La capacidad de replicar geometrías orgánicas y complejas elimina la necesidad de moldes costosos, ampliando las posibilidades del diseño arquitectónico.

2.3 Retos de Implementación

A pesar de las prometedoras expectativas, la implementación de la manufactura aditiva enfrenta diversos obstáculos, especialmente en Latinoamérica:

- **Desarrollo de material:** Es necesaria la formulación de un concreto imprimible (tixotrópico, con alta estabilidad dimensional, tiempo de trabajabilidad adecuado, buena adherencia entre capas, altas resistencias iniciales y fraguado acelerado) utilizando materias primas locales y validado en laboratorio.
- **Hardware y costos:** La inversión en sistemas robóticos, equipos de bombeo y la capacitación del personal son considerables.
- **Normativas y estándares:** Aún no existen normativas internacionales detalladas que regulen la edificación y el reforzamiento de estructuras impresas para ocupación humana.
- **Infraestructura local:** La capacidad de altura (actualmente limitada a tres plantas) y la necesidad de equipos auxiliares (grúas, montacargas) son factores limitantes en regiones con alta incidencia de construcción informal.
- **Actividad sísmica:** En zonas con elevada actividad sísmica, como en gran parte de Latinoamérica, es necesario desarrollar nuevos conocimientos y metodologías estructurales adaptadas a estas condiciones.
- **Mano de obra calificada:** La formación de operarios y técnicos especializados es esencial, lo que implica mayores costos y tiempo de capacitación.
- **Diseño de las estructuras:** Los profesionales deben adaptar sus metodologías de diseño, ya que la planificación y desarrollo de proyectos con manufactura aditiva requieren consideraciones específicas que difieren de las metodologías tradicionales.

3. Rol del Diseñador Industrial en la Innovación Constructiva

3.1 Contextualización y Objetivos del Proyecto

Formando parte del equipo de Investigación y Desarrollo de “Progreso” (una corporación guatemalteca de operación multilatina dedicada a la fabricación y distribución de materiales para la construcción), se ha impulsado el estudio y factibilización de la manufactura aditiva para “imprimir edificaciones de concreto en 3D”. Los objetivos planteados han sido:

- **Desarrollar una formulación de concreto imprimible** con materias primas locales, baja huella de carbono y validada en condiciones reales.
- **Validar y factibilizar el método constructivo** en zonas altamente sísmicas (Guatemala), brindando evidencia técnica de su viabilidad.
- **Brindar visibilidad al espíritu innovador** y la inversión local de la corporación.

3.2 Aporte del Diseñador Industrial

El rol del diseñador industrial en este proyecto ha abarcado diversas áreas:

- **Experimentación y metodología:** En 2019 se exploraron las posibilidades de imprimir a pequeña escala utilizando materiales a base de cemento (micro concreto) para obtener datos sobre las propiedades físicas y reológicas necesarias en un concreto imprimible.
- **Adaptación de tecnología:** Ante la ausencia de equipos específicos en el mercado, se propuso la modificación y adaptación de una impresora FDM de escritorio para extruir pastas de cemento y morteros finos, definiendo además las geometrías a imprimir en pruebas a pequeña escala.
- **Escalabilidad del proyecto:** La incertidumbre inherente a una tecnología nueva planteó interrogantes sobre el tamaño, la tecnología disponible, la necesidad de desarrollo local versus importación y la inversión requerida.
- **Trabajo multidisciplinario:** Con la adquisición, en 2021, de un equipo de impresión “BOD-2” de la marca danesa COBOD (capaz de imprimir 49 m² de área efectiva y hasta 5.6 m de altura), se estableció un esquema de trabajo que integró:

- Formulación y validación del material.
- Validación del sistema constructivo en área sísmica.
- Preparación técnica del equipo de investigación y operación.
- Condiciones en sitio para la operación del equipo.
- Definición de la ruta de investigación.
- Colaboración con actores interesados y la academia local.
- Diseño de los elementos a edificar.

- **Roles y colaboración:** En el proyecto se definieron roles específicos, tales como:
 - Investigador 1: Desarrollo y caracterización del material imprimible.
 - Investigador 2: Análisis y desarrollo de tipologías estructurales.
 - Investigador 3: Homologación y aplicación de tecnologías CAD y fabricación digital.
 - Roles operativos: Encargados de materiales, hardware, logística, modelado 3D, programación de g-coding y asistencia operativa.

El diseñador industrial ha liderado principalmente las funciones de “Investigador 3”, “Rol operativo 2 y 4”, y ha compartido responsabilidades en el “Rol operativo 3”. Su aporte ha sido fundamental para servir de puente entre la complejidad técnica (cálculos, resistencia, metodología constructiva, geometría y refuerzo estructural) y los aspectos científicos del material (reología, ensayos en laboratorio, documentación y caracterización), permitiendo la materialización de elementos y estructuras que hoy constituyen referencias regionales de innovación.

Por ejemplo, el **Proyecto BETA** –la segunda estructura de 50 m² impresa en las instalaciones de Planta San Miguel, en El Progreso, Guatemala– es resultado de años de investigación y desarrollo. Se trata de un módulo 100% impreso en 3D, con una cubierta sólida (techo de concreto fundido) que cumple con los requerimientos de sismoresistencia local.

les. El diseño arquitectónico fue desarrollado conjuntamente por la arquitecta Marisabel Paredes, el ingeniero Ariel Osorio y el diseñador industrial Manuel Ovalle, y demostró las capacidades de la tecnología en términos de libertad geométrica y aprovechamiento del área de impresión.

Esta experiencia evidencia que el diseñador industrial, al traducir necesidades técnicas y abstractas en soluciones físicas, se convierte en un elemento catalizador para la transformación de procesos y metodologías en la construcción, participando activamente en proyectos de magnitud exponencial y colaborando con ingenieros, arquitectos y otros profesionales.



Figura 1. Fotografía del proyecto BETA en Planta San Miguel, El Progreso, Guatemala. Tomada de Progreso (2024), Innovación y sostenibilidad: Progreso lanza el “Proyecto Beta” con tinta cementante y tecnología 3D. <https://progreso.com/innovacion-y-sostenibilidad-progreso-lanza-el-proyecto-beta-con-tinta-cementante-y-tecnologia-3d/>



Figura 2. Fotografía del autor operando la impresora en Planta San Miguel, El Progreso, Guatemala. Tomada de Progreso (2023).

Conclusiones

La manufactura aditiva o impresión 3D en la construcción se presenta como una tecnología emergente con el potencial de:

- Reducir los tiempos y costos de edificación.
- Minimizar la huella de carbono y el desperdicio de materia prima.
- Ampliar las posibilidades en diseño arquitectónico mediante geometrías complejas.

Sin embargo, su implementación en América Latina enfrenta retos importantes relacionados con el desarrollo de materiales, la inversión en hardware, la falta de normativas y la capacitación de mano de obra especializada. La experiencia en Progreso demuestra que la colaboración multidisciplinaria –donde el diseñador industrial ha jugado un rol fundamental en este caso específico– es clave para adaptar la tecnología a las condiciones locales y, a la vez, contribuir a paliar la crisis habitacional.

Aunque la tecnología aún no impacta de manera directa en la reducción del déficit habitacional, proyectos de investigación como este son esenciales para acelerar su desarrollo e integración en el mercado, impulsando un futuro más sostenible e inclusivo a través de la innovación y la transformación de la industria constructiva.

Agradecimiento

El autor expresa su agradecimiento a **Progreso Guatemala y su Centro de Investigación y Desarrollo** por la inclusión del rol del diseñador industrial en el proyecto de impresión 3D en concreto, en especial al **Gerente de Investigación y Desarrollo, Luis Velásquez**, por su apoyo y visión. Asimismo, se reconoce la colaboración y liderazgo técnico y científico de los ingenieros del equipo de investigación y desarrollo en concreto: **Plinio Estuardo Herrera (Gerente de investigación de Concreto)**, **Ariel Osorio** y **Hans Calel**. Finalmente, se agradece al **Dr. Ovidio Morales**, por su motivación para la elaboración del presente artículo.

Referencia Bibliográfica

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Foro de Vivienda 2022: Soluciones resilientes para la reducción del déficit habitacional en América Latina y el Caribe*. <https://www.iadb.org>
- Baptista, B., Tala, N., López, S., Henríquez, P., Dalaison, W., & Saldías, C. (2024). *Transformando la construcción en América Latina y el Caribe: Digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad* (Nota Técnica No. IDB-TN-3025). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.iadb.org>
- Colomina, B., & Wigley, M. (2021). *¿Somos humanos? Notas sobre una arqueología del diseño* (A. Hernández Gálvez, Trad.). Arquine.
- ONU-Habitat. (2015). *Déficit habitacional en América Latina y el Caribe: Una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas en vivienda y hábitat*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. <https://www.unhabitat.org>
- Progreso. (2023, noviembre 15). *Innovación y sostenibilidad: Progreso lanza el “Proyecto Beta” con tinta cementante y tecnología 3D*. <https://progreso.com/innovacion-y-sostenibilidad-progreso-lanza-el-proyecto-beta-con-tinta-cementante-y-tecnologia-3d/>

Abstract: This article addresses the intersection of industrial design, automation, and construction, with a particular emphasis on the application of 3D printing in particular. It examines the context of the housing shortage and the barriers to the construction industry in Latin America, defines additive manufacturing, and describes its expectations and challenges. Finally, it analyzes the role of the industrial designer as a transformative agent in the integration of this emerging technology, drawing on the research and development experience at the Progreso Research and Development Center

Keywords: industrial design - automation - additive manufacturing - 3D printing - construction - innovation - housing shortage

Resumo: Este artigo aborda a intersecção entre design industrial, automação e construção, dando ênfase especial à aplicação da impressão 3D em particular. O contexto da escassez de moradias e as barreiras ao setor da construção civil na América Latina são examinados, a manufatura aditiva é definida e suas expectativas e desafios são descritos. Por fim, analisa-se o papel do designer industrial como agente transformador na integração desta tecnologia emergente, a partir da experiência de pesquisa e desenvolvimento do “Centro de Pesquisa e Desenvolvimento” do Progreso

Palavras-chave: design industrial - automação - manufatura aditiva - impressão 3D - construção - inovação - escassez de moradias

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