

Arquitectura e industrialización

Architecture and industrialization

Felipe Chumpitaz Mellarez
Investigador independiente

Araceli Zúñiga Pimentel
Investigadora independiente

Recibido: 22 de agosto de 2024
Aceptado: 21 de septiembre de 2024

Antecedentes del documento. El artículo es resultado del interés de los autores en el tema de la industrialización y su vínculo con la arquitectura y la construcción.

Felipe Félix Chumpitaz Mellarez. Arquitecto egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería. Experiencia profesional ligada al sector *retail* (1990 - 2022) y partícipe de la implementación de espacios comerciales. Fue profesor en la Pontificia Universidad Católica del Perú y en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Actual gerente de proyectos de la empresa 20 - 21 SAC.

Araceli Zúñiga Pimentel. Arquitecta egresada de la Universidad Privada del Norte. Se desempeñó como practicante asistente en la elaboración de proyectos de viviendas. Con experiencia en el sector *retail* y partícipe de la implementación de espacios comerciales

Arquitectura e industrialización

Architecture and industrialization

Resumen

La industrialización de la construcción propone la optimización de los procesos mediante la implementación de metodologías como BIM, inteligencia artificial e impresión 3D; los cuales, han transformado la planificación y ejecución de los proyectos, propiciando una mayor y más temprana integración de todas las disciplinas involucradas, con resultados más eficientes y alentadores. En el Perú, iniciativas como el Plan Selva (2015), han demostrado el tremendo potencial de combinar tecnología moderna con soluciones tradicionales, para optimizar los sistemas constructivos para áreas de difícil acceso. Este artículo explora los conceptos de industrialización en la arquitectura, el prototipo y la utilización de recursos locales como respuesta a las preocupaciones y demandas contemporáneas. En tal sentido, se apuesta por la búsqueda de una arquitectura democrática, vanguardista y sostenible, capaz de reconocer tanto la herencia y el conocimiento acumulado, como los avances tecnológicos e industriales, para responder de forma efectiva y contundente.

Palabras clave: arquitectura industrializada, Plan Selva, Perú, industrialización, BIM.

Abstract

The industrialization of construction proposes the optimization of processes through the implementation of technologies such as BIM, artificial intelligence and 3D printing, which have transformed the planning and execution of projects, promoting greater and earlier integration of all the disciplines involved, with more efficient and encouraging results. In Peru, initiatives such as Plan Selva (2015) have demonstrated the tremendous potential of combining modern technology with traditional solutions to optimize construction systems for hard-to-reach areas. This article explores the concepts of industrialization in architecture, modular design and the use of local resources as a response to contemporary concerns and demands. In this sense, the aim is to seek a democratic, avant-garde and sustainable architecture, capable of recognising both the heritage and accumulated knowledge as well as technological and industrial advances, in order to respond effectively and forcefully.

Keywords: industrialized architecture, Plan Selva, Peru, industrialization, BIM.

1. Introducción

El fenómeno industrial en Latinoamérica ha tenido resultados heterogéneos: en un lugar donde prima la autoconstrucción, la desigualdad física y la segregación urbana, constituye todavía un desafío crear las condiciones necesarias para contrarrestar la degradación de la vida urbana y producir una arquitectura acorde a nuestros tiempos. En vista de que la arquitectura es un oficio que requiere un profundo conocimiento y experiencia para la toma de decisiones, es necesario dar soluciones urgentes, audaces, inteligentes y científicas.

En este contexto, los profesionales de la construcción, arquitectos e ingenieros tienen el compromiso de desempeñar un trabajo cada vez más colaborativo, que se manifieste en propuestas edilicias que respondan de forma idónea a las exigencias contemporáneas, planteándose la atención de necesidades en los plazos más cortos posibles, con los costos apropiados, en cualquier lugar y con la tipología que corresponda, sea esta personalizada o colectiva.

Este artículo aborda la relación entre la arquitectura y la industrialización de la construcción. En el ámbito de la edificación, el desarrollo no ha sido tan avanzado como en otros campos del quehacer de una sociedad, evidenciando las profundas diferencias que existen entre lo que se necesita y lo que se proyecta u ofrece. A nivel mundial, salvo unas pocas excepciones, se continúa construyendo con los conceptos básicos y sistemas que surgieron en la Revolución Industrial –el concreto armado, estructuras metálicas, dimensionamientos estándar de los componentes según su función y otros– y aunque las formas han mejorado en términos de tiempo y costo, en esencia, el fondo, no ha mostrado un cambio significativo.

En la actualidad, sin embargo, están dadas las condiciones para un salto cualitativo que permita construcciones consecuentes en sus formas y eficientes en su función durante su proceso constructivo y en su operatividad. Por ello, para ofrecer una visión amplia, se alude a conceptos relacionados a la industrialización como el prototipo y la teoría de soportes, así como instrumentos tecnológicos como el BIM, junto con casos en los que dichos conceptos han sido aplicados con resultados satisfactorios.

2. Industrialización en arquitectura, ingeniería y construcción

El concepto de industrialización tiene pautas muy claras que configuran sus procedimientos y alcances, perfectamente aplicables a todos los campos de la producción que pretenden desarrollarse de manera ordenada y sistemática. Para los efectos de nuestro tema, es identificable la cadena que se inicia con el requerimiento de espacio para determinada actividad, para luego transcurrir por las sucesivas etapas de diseño, producción, transporte, acarreo y montaje. Tras la Revolución Industrial del siglo XVIII, en el ejercicio de la arquitectura se dio un salto cualitativo que hasta la fecha no ha tenido parangón. Actualmente, no estamos ante nuevas condicionantes de diseño, nuevos materiales o sistemas constructivos, sino más bien, lo que se ha dado a través del tiempo, es la evolución de los instrumentos para diseñar y la optimización de los procesos constructivos.

Comparado con el desarrollo de otras actividades productivas, en los últimos cien años la arquitectura e ingeniería, y por ende la construcción como producto de ambos, se encuentran a la zaga; no obstante, se debe reconocer que en cada uno de esos campos se han dado pasos importantes para mejorar la eficiencia en los tiempos y reducir el costo asociado a su ejecución. Estos avances deberían reflejarse en una mayor y mejor atención de las demandas ciudadanas en cuanto a tipologías de vivienda, educación, salud y servicios básicos con los que debería contar una población.

La eficiencia lograda en esta primera etapa encuentra continuidad en el desarrollo industrializado del proceso constructivo que, para determinados e importantes casos, facilita la viabilidad económica, determinante para la ejecución de los grandes proyectos. Manejar conceptos de estandarización, modularización, prefabricación, así como de procesos homologados de certificación para transporte, izaje y montaje, cada vez resulta más recurrente y necesario; todo esto con miras hacia una práctica arquitectónica que, indefectiblemente, debe abordar las grandes demandas ocupacionales de la humanidad.

El prototipo

Uno de los elementos que tiene incidencia determinante en los procesos industrializados y específicamente en los constructivos, desde la etapa del diseño y con su validación primaria, hasta la finalización de una obra como pieza de sistema, es el prototipo. Un prototipo es la creación inicial de un modelo que tendrá la mayor cantidad de características, si no todas, del producto a fabricarse en mayor cantidad; esto, con el fin de determinar si su funcionamiento, su forma y la reacción de los usuarios estaría de acuerdo con los objetivos del diseño. Existen diferentes criterios para clasificar un prototipo pero, para simplificar, señalaremos dos tipos básicos: de baja y de alta fidelidad que, como su nombre lo indica, están relacionados directamente con el nivel de desarrollo respecto a la propuesta definitiva.

La acción de *prototipar* es fundamental en un proceso industrial. Si nos limitamos tan sólo a la estandarización y prefabricación de las partes del sistema, como únicos valores agregados que simplificarán la ejecución de la obra y reducirán su costo asociado, el enfoque será insuficiente. Mantener los procesos convencionales, en los que las tareas son más artesanales que técnicas, resultará en qué, aunque un edificio haya sido concebido como el más desarrollado a nivel tecnológico, este habrá surgido del desorden y la confusión de una obra convencional, caracterizada por la presencia de equipos sin mantenimiento, desmonte no clasificado, herramientas no certificadas, entre otras cosas (Wachsmann, 2021).

Por lo tanto, debería existir un compromiso global para asumir la actividad de construir como un reto al que hay que ponerle el máximo interés desde el día cero. Es necesario romper la inercia de una actitud conservadora que da buenos resultados –generalmente sólo económicos– pero que podría subir su valor en forma exponencial. Así mismo, si se trabajara desde el diseño de máquinas que, a su vez, fabriquen piezas de forma sistemática, veloz y sin problemas u observaciones en su resistencia o variaciones dimensionales, se lograría una mayor eficiencia en su empaque, traslado y ensamblaje en obra. Acertadamente, Bender (2021) pregunta: “¿Cómo

puede uno de los sectores más importantes de la economía mundial estar tan poco avanzado, que sólo recientemente se haya considerado la industrialización de la construcción como un tema de discusión importante?” (p. 103). Paradójicamente, la pregunta sigue sin respuestas respaldadas por hechos contundentes.

Ahora bien, teniendo claros los objetivos, ¿cómo llegar a ellos? Empezar la producción en serie tiene sus exigencias y especificaciones técnicas que, más allá de parecer obstáculos de partida para el diseño arquitectónico industrializado, deberían ser considerados como catalizadores que generen la reacción de una propuesta arquitectónica de avanzada, desde el inicio de la construcción hasta la entrega ‘llave en mano’ de una edificación.

Sin embargo, nos enfrentamos a conceptos que no tienen que ser opuestos, sino, más bien, podrían ser complementarios: industrialización e individualización. Si nuestra premisa es la producción en serie, lo primero que hay que asegurar es que la inversión sea rentable y que todo el costo de infraestructura que requiera la elaboración industrial del producto sea cubierto por la venta en volumen de este. Esto implica una producción masiva que, por su denominación, nos llevaría a pensar que es imposible la individualización de componentes y sistemas de uso arquitectónico, corriendo el riesgo de caer en una monotonía que devenga en la generación de espacios inhabitables en el tiempo; y esto, no es necesariamente un escenario inevitable.

SAR y la teoría de soportes

Richard (2021) establece estrategias para propiciar la individualización dentro de la serialización de la industrialización. Estas se basan en conceptos de flexibilidad, tanto de las herramientas que se utilizarán en la producción, teniendo en cuenta la variabilidad de ciertos componentes de las máquinas para fabricación digital, como del producto, para disponer de ellos como módulos que componen otros módulos y que la subforma puede dar lugar a megaformas, totalmente distintas, unas de otras. En esa misma línea, se puede mencionar el caso de estructuras

polivalentes que permiten la utilización, variable en el tiempo, de unidades extraíbles, que pueden agregarse o retirarse, conforme se va dando un uso diferente al espacio.

Un claro ejemplo de esto son las investigaciones del SAR (*Stichting Architecture Research*) y la teoría de los soportes propuesta por John Habraken en 1976. Habraken introduce, por primera vez, la división del sistema de producción de la vivienda en dos fases diferenciadas: la de elementos infraestructurales permanentes y de dominio colectivo como accesos, estructura e instalaciones, denominados *soporte*, y otra de elementos intercambiables, controlados por el usuario, como la tabiquería, componentes de baño, cocina y mobiliario, denominados *relleno* (Barnó y Stepien, 2012). La condición de estos componentes producidos en serie para poderse desmontar, contribuye a la individualización de la propuesta global con resultados novedosos, como es el caso de la vivienda cooperativa La Borda, en Barcelona¹.

El reparto de responsabilidades durante la ejecución de la obra, por el cual el Estado se encarga de la provisión de las estructuras, mientras que el usuario interviene individualmente según sus necesidades y requerimientos particulares, dio tan buenos resultados que permitió el desarrollo de megaproyectos; y, con relativamente pocos componentes diseñados, desarrollados y fabricados en planta, se obtuvieron reducciones en el tiempo de ejecución y el costo de la obra. Un factor importante que aportó este sistema fue su carácter de industrialización abierta, ya que permitía la flexibilización de la trama estructural bajo ciertas condiciones que garantizaban la coordinación modular, sin limitar las posibilidades de variación y disposición del soporte ni de las unidades separables.

Al mismo tiempo, la coordinación modular, claramente definida, impedía la probabilidad del monopolio comercial, toda vez que, conocidas las reglas, diversas empresas podían proponer sus elementos, piezas, productos y/o acabados, sin restricciones, fortaleciendo la individualización de los montajes de acuerdo con la elección de los usuarios. “Los sistemas IFD (Industrializado / Flexible / Desmontable) representan una gran oportunidad para aplicar efectivamente estas es-

trategias de individualización, [...] combinando las características de calidad y economía de la industrialización con la capacidad de adaptación para acomodar la evolución de su ocupante” (Richard, 2021, p. 165). Por ello, las investigaciones del SAR, con su propuesta para crear una herramienta que permita el diseño y la producción industrial desde las primeras etapas de gestión del proyecto, incorporando a fabricantes y futuros usuarios como participantes activos del mismo, constituyen un aporte de total vigencia (Barnó y Stepien, 2012).

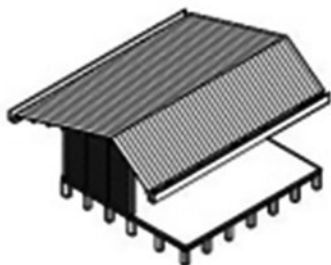
3. La industrialización del diseño y la construcción en el Perú

En Latinoamérica, la industrialización en la arquitectura y la ingeniería, como pauta de diseño y desde el punto de vista constructivo, se encuentra rezagado de otras actividades productivas. El mayor avance se da en obras de infraestructura, puentes, diques, reservorios de agua de gran envergadura o similar. Por la magnitud de la inversión que implica su ejecución, representan los mejores ejemplos de evolución en diseño y procesos constructivos industrializados. Aunque en otras tipologías se han dado grandes cambios que han significado ahorros en tiempo de ejecución y de presupuestos, incluso en sostenibilidad, éstos han sido más de forma que de fondo y por lo tanto, insuficientes ante la demanda urgente de atención del déficit en el sector de vivienda, educación, servicios y espacio público, entre otros.

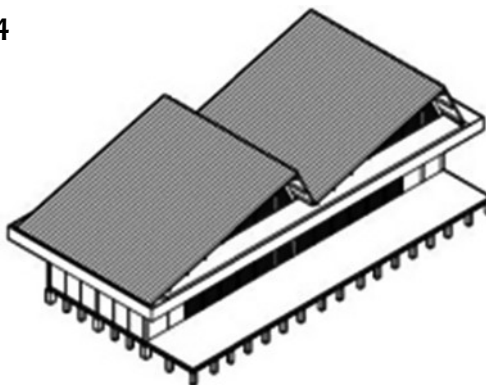
El Plan Selva 2015

La educación en el Perú, como muchos otros frentes de necesidad nacional, tiene un déficit de atención considerable². En tal sentido, algunos gobiernos se enfocaron en la construcción de escuelas a lo largo del territorio nacional, lamentablemente, con intereses más políticos que técnicos y profesionales. El objetivo de construir ‘una escuela por día’ dio lugar a estudios y proyectos orientados a atender el déficit cuantitativo más no cualitativo, dando como resultado proyectos carentes de calidad y pertinencia arquitectónica. La proliferación acrítica del uso del concreto armado y la omisión de las condicionantes climáticas y geográficas, lle-

1



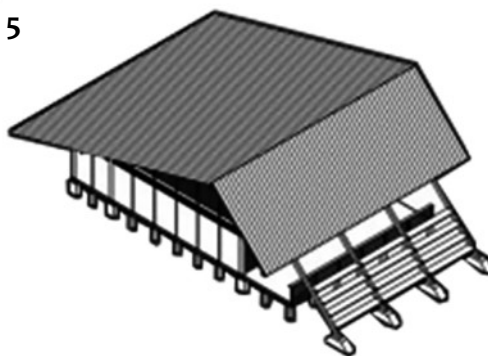
4



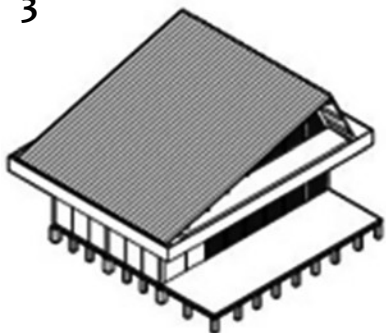
2



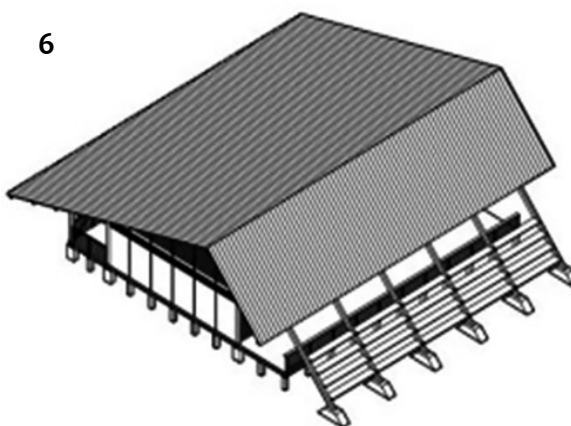
5



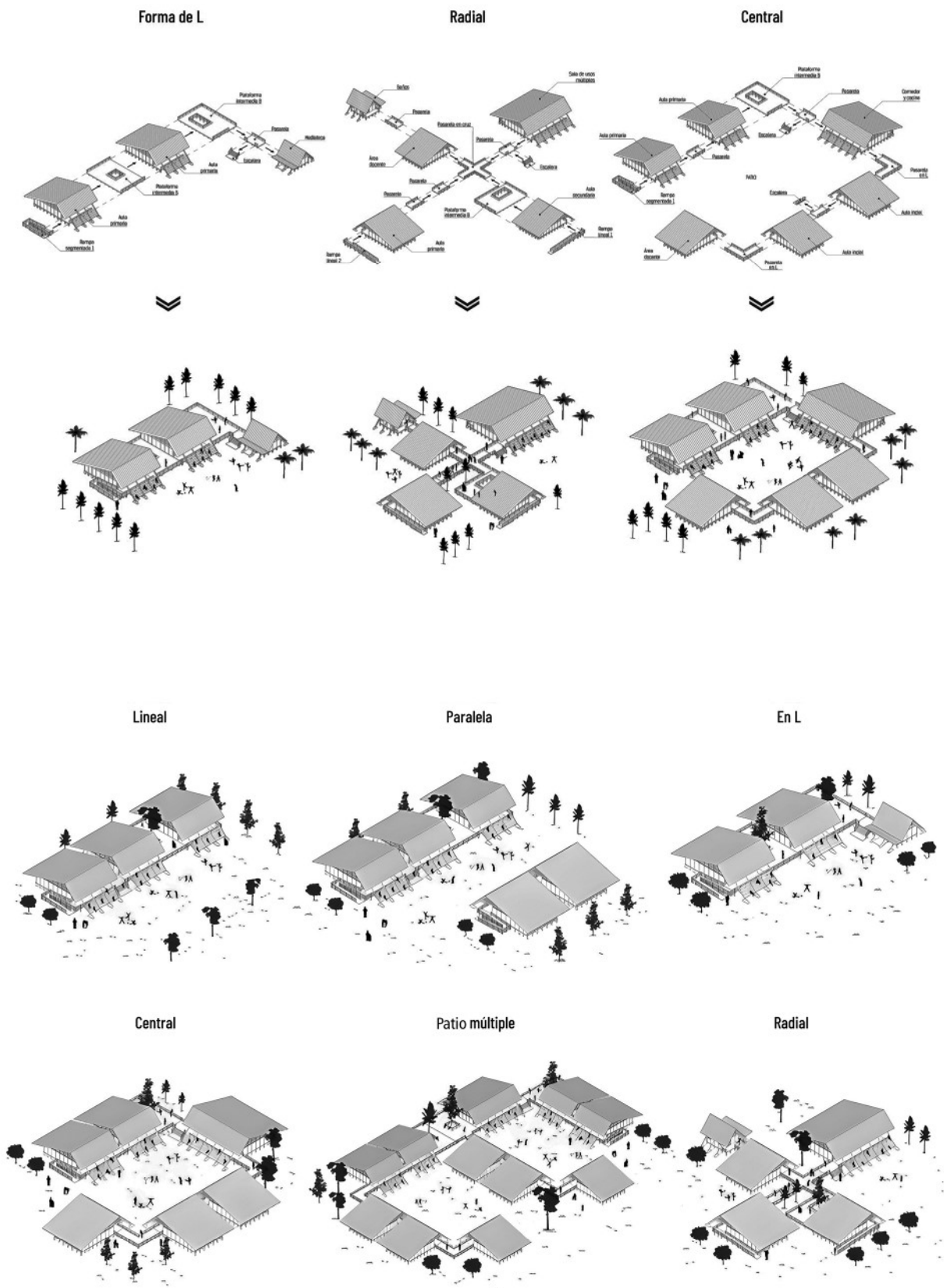
3



6



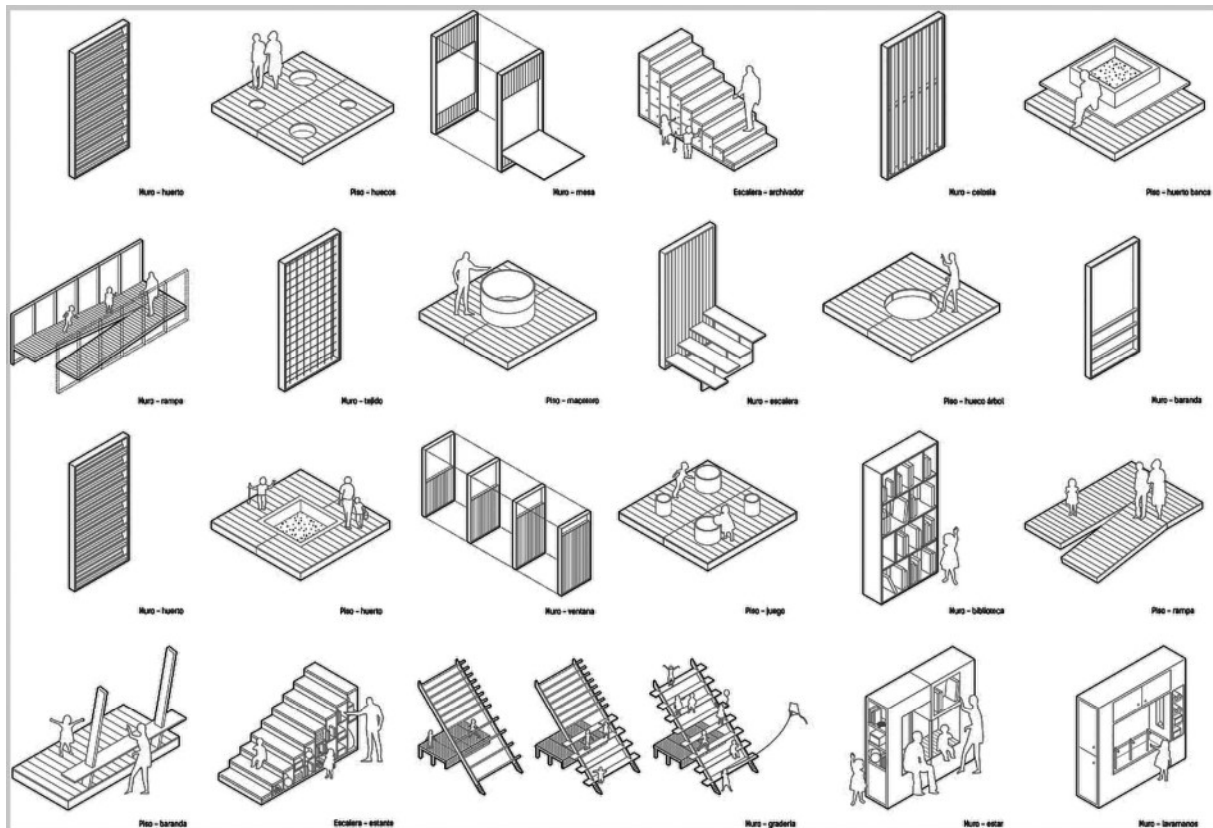
Prototipos de colegio industrializado. Proyecto Plan Selva, Satipo, 2015. Equipo Plan Selva, MINEDU, Perú.
Adaptado de Portafolio Gino Fernández [Diagrama], por Gino Fernández, ISSUU (https://issuu.com/gnfrnndz/docs/portafolio_ginofernandez).



Configuraciones de colegio industrializado. Proyecto Plan Selva, Satipo, 2015. Equipo Plan Selva, MINEDU, Perú. Adaptado de Plan Selva [Diagrama], por Equipo Plan Selva, ARCHDAILY (<https://www.archdaily.pe/pe/799046/bienal-de-arquitectura-de-peru-hexagono-de-oro-es-otorgado-al-sistema-prefabricado-modular-plan-selva-del-ministerio-de-educacion>).



Institución educativa Héroes de la Paz, Satipo, Región Junín. 2015. Colegio industrializado. Diseño: Equipo Plan Selva, MINEDU, Perú. Combinación de módulos, proceso de construcción, aplicación de materialidad mixta y vista interior del colegio.



Kit infraestructura de implementación de colegio industrializado. Proyecto Plan Selva, Satipo, 2015. Equipo Plan Selva, MINEDU, Perú. Adaptado de Plan Selva [Diagrama], por Equipo Plan Selva, ARCHDAILY (<https://www.archdaily.pe/pe/799046/bienal-de-arquitectura-de-peru-hexagono-de-oro-es-otorgado-al-sistema-prefabricado-modular-plan-selva-del-ministerio-de-educacion>)

vó al desarrollo de proyectos homogéneos. Peor aún, muchas de estas escuelas, debido a las deficiencias en el confort térmico y a que se ignoraron los ciclos naturales, quedaron inutilizadas al poco tiempo. En este contexto, la experiencia recogida en el proyecto Plan Selva 2015, en materia de infraestructura educativa e industrialización es innovadora y alentadora, convirtiendo a la región, de complicada logística y acceso de materiales desde la costa, en una fuente de soluciones creativas.

Con la decisión de utilizar la prefabricación de los componentes del sistema constructivo, el paso siguiente era el diseño modulado con posibilidades de engrame o acople a partir de un módulo base. Así, como estrategia para responder a las particularidades de su emplazamiento “el Plan Selva, oferta seis módulos base, con diferentes geometrías y áreas, y con posibilidad de contener distintos usos, de acuerdo con la demanda de programas que se necesiten para un deter-

minado local educativo” (León, 2021, p. 17). Cada módulo puede albergar diversos usos, por ejemplo, el módulo A puede funcionar como baño o enfermería; el módulo B, como baño, biblioteca o dirección; el módulo C, D y E, aula pequeña, sala de tecnología o SUM y aula o sala de profesores, respectivamente; mientras que el F como comedor o residencia estudiantil.

El proceso de construcción consiste en el vaciado in situ de las zapatas de concreto, seguido del montaje del *kit de infraestructura* que contiene los elementos de construcción del módulo, así como del mobiliario. Los componentes del módulo están divididos en las categorías de techo, pisos y cerramiento. El techo es una cubierta a dos aguas compuesto por una estructura metálica con planchas termoacústicas, el cual varía de inclinación dependiendo del tipo de módulo -18° , 45° o una combinación de 8 y 45° . El piso está conformado por un emparrillado metálico de vigas y viguetas apoyado sobre las zapatas,

sobre las cuales se coloca el piso acabado de madera machihembrada. Los muros no son estructurales, en el caso de cerramientos, se trata de celosías de madera de 2" x 2" con una altura de 5.60 m y cuando son muros divisorios, están hechos de triplay fenólico.

Los conectores son elementos que sirven para generar complejos más grandes a través de la combinación de los 6 módulos, o para generar espacios complementarios o de acceso a un único módulo. Están compuestos por escaleras, rampas lineales, dos variaciones de rampas de dos tramos, pasarelas lineales, en L, en cruz, o espacios de circulación de dimensiones más holgadas, con la intención de generar espacios de aprendizaje y socialización anexos a los espacios interiores. Además, los módulos y conectores se plantean en alturas de 0.45, 0.90 y 1.50 m, lo que permite su aplicación y versatilidad en diversos emplazamientos potenciales.

En general, los componentes fueron diseñados como elementos prefabricados en talleres –ubicados en ciudades cercanas– y ensamblados *in situ*. En sintonía con las prácticas arquitectónicas vernáculas, la propuesta opta por un piso elevado tipo palafito para contrarrestar el efecto de las inundaciones causadas por las lluvias, y techos a dos aguas lo suficientemente altos para garantizar una adecuada ventilación y confort térmico en el interior. El sistema fue concebido para ser un modelo replicable en diferentes zonas de la selva peruana y el montaje por módulo toma entre 8 y 12 días; el trabajo es realizado por personal calificado, que se complementa con mano de obra local para los componentes artesanales. En el 2015 se construyeron 10 instituciones, incluyendo el tiempo de diseño, gestión, fabricación e instalación (Bos et al., 2018), y para el 2016 la cantidad ascendió a 69, lo que demuestra su potencial y eficiencia.

De la propuesta, destaca el hecho de que se dio una perfecta combinación entre la reinterpretación de los sistemas constructivos ancestrales, los instrumentos de tecnología avanzada y los lineamientos de la industrialización. Esto permitió “acelerar los tiempos de construcción y ofrecer estándares de calidad dignos para los usuarios” (León, 2021, p. 20). La experiencia es valiosa y resulta perfec-

tamente replicable, no sólo en el sector educación, ni para una determinada región³, sino también en otras tipologías, como vivienda, donde la demanda es tan grande, urgente y extendida.

Tal es el caso de proyectos como el Edificio A01 y el *Hybrid Frame*, en Argentina, que son propuestas en las que se ensaya la incorporación de componentes sistémicos, procesos productivos del acero e inclusión de nuevas tecnologías; o la experiencia del Prototipo Sistema Constructivo Industrializado, proyectado por las firmas Ignacio Rojas Hirigoyen Arquitectos y *The Andes House*, cuya concepción nace de la búsqueda de soluciones constructivas en atención al déficit de vivienda en Chile. Teniendo en consideración conceptos de eficiencia, economización y rapidez, desarrollaron un proyecto con un alto nivel de industrialización, en el que las piezas y componentes –principalmente metálicos y de madera– permiten múltiples configuraciones, posibilidades de expansión y replicabilidad en contextos similares. Dichas experiencias y proyectos nos anticipan las posibilidades y tendencias que se están dando en esa línea.

4. El futuro

Ubicados en la actualidad, consideramos que se plantean dos situaciones mirando al futuro. En primer lugar, la industrialización como medio de optimización de los sistemas y procedimientos actuales, con herramientas como el sistema BIM, la inteligencia artificial y la impresión en 3D. En segundo lugar, la industrialización como catalizador de una nueva arquitectura e ingenierías, por la aparición de nuevos materiales y sistemas constructivos.

Es innegable el impulso que le ha dado al sector construcción la metodología de trabajo BIM (*Building Information Modeling*), cuyo valor más importante ha sido la centralización de toda la información del proyecto, permitiendo un desarrollo, en paralelo, de cada una de las especialidades comprometidas. Esto ha propiciado lo que se conoce también como ‘integración temprana’, que es la reunión de los profesionales desde las fases iniciales del proyecto para que los lineamientos queden claros y que, a partir de un



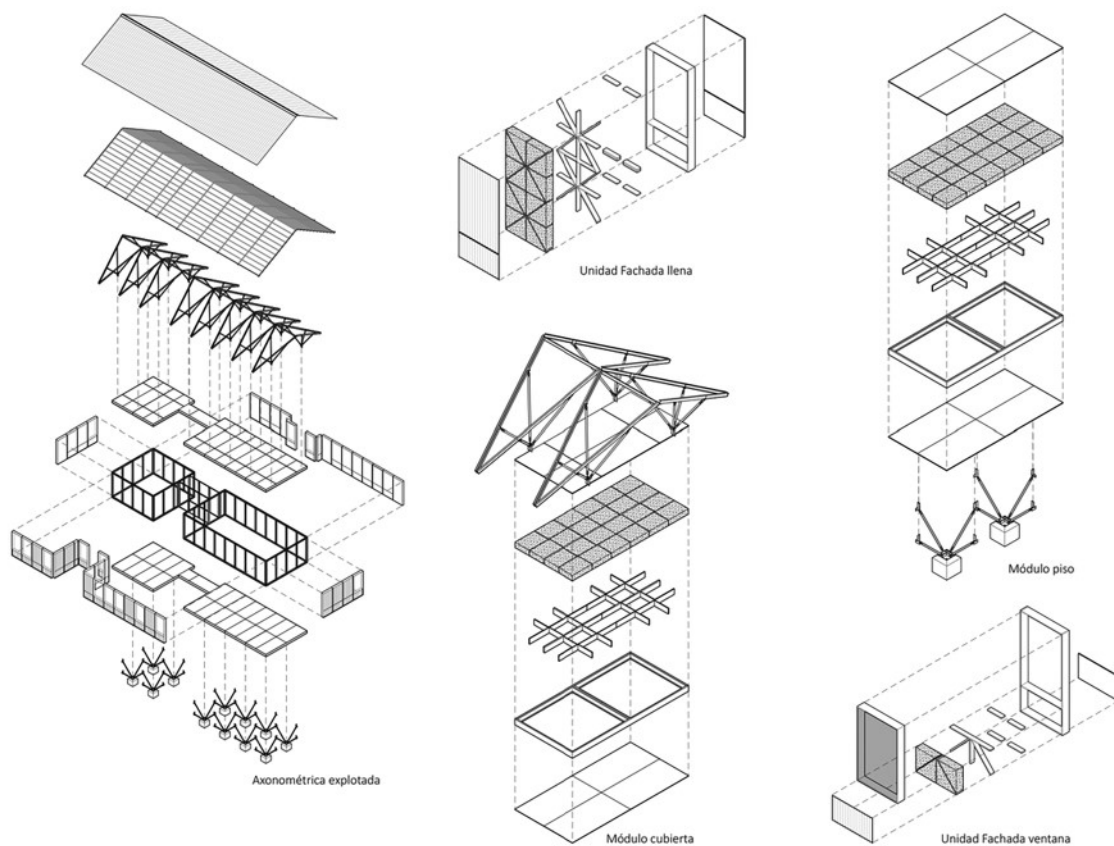
Edificio A01 en proceso de construcción y finalizado. Rosario, Santa Fe, Argentina, 2021.
Diseño: Arquitecto Federico Marinaro. Arquitecta asociada: Sofía Settimini.
Tomado de Edificio A01 [Fotografía], por Federico Marinaro arquitecto.
(<https://www.federicomarinaro.com/proyectos.php>).

anteproyecto arquitectónico, cada modificación sea plasmada, de forma simultánea, en el modelo de las demás especialidades. De la misma manera, cada respuesta en el diseño estructural, de ingeniería eléctrica, sanitaria o electromecánica, revertirá una acción sobre la arquitectura, que en el óptimo de los casos, debe estar consensuada y, por ende, permanentemente compatibilizada.

Ya el procedimiento antiguo de ir compartiendo la información de oficina en oficina para hacer un *feedback* con los replanteos respectivos, ha pasado a ser una práctica desactualizada. Además, el BIM no se agota en el desarrollo de un proyecto, otra de las ventajas de este sistema es que, establecido el proyecto definitivo, tiene la capacidad de emitir información importantísima para la ejecución de la obra y para el ciclo de vida de la edificación. En este marco, resulta de importancia mayor, el manejo prolijo de los datos que alimentarán la metodología de trabajo, y estando el arquitecto en la génesis de un proyecto, su papel como gestor de información

lo convierte en el principal protagonista del proceso, recuperando de esta manera el rol que desempeñó, desde los tiempos primeros, en todas las áreas del proyecto y la obra.

Por ello, la introducción de la metodología BIM, a través de una serie de lineamientos, por parte de la Cámara Peruana de la Construcción en el año 2012 y el Plan BIM Perú 2018, son acciones necesarias e imprescindibles para la aplicación de los procesos industriales en el contexto nacional. De igual importancia es que, a partir de la independencia del Proyecto Nacional de Infraestructura Educativa (PRONIED), se determinó que la prefabricación fuera uno de los lineamientos clave a seguir y que una de sus primeras medidas fuese la implementación de la metodología BIM. Programas como el Proyecto Especial de Inversión Pública Escuelas Bicentenario (PEIP-EB), desarrollado con la finalidad de crear los diseños preliminares del Catálogo de Escuelas Modulares, se constituyen como pasos importantes en esta línea (León, 2021).



Vivienda prefabricada. Axonométrica explotada de vivienda prefabricada.

Prototipo Sistema Constructivo Industrializado, Chile, 2021. Ignacio Rojas Hirigoyen Arquitectos + The Andes House.

Imagen de arriba: tomada de Casa Blanca [Fotografía], por THE ANDES HOUSE (<https://theandeshouse.com/blogs/arquitectura/casa-prefabricada>).

Imagen de abajo: tomada de Prototipo Sistema Constructivo Industrializado [Fotografía], por The Andes House, ARCHDAILY (<https://www.archdaily.cl/cl/1010357/prototipo-sistema-constructivo-industrializado-ignacio-rojas-hirigoyen-arquitectos-plus-the-andes-house>).

Inteligencia artificial e impresión 3D

Aunque la inteligencia artificial ha incurrido en el ámbito de la arquitectura y la construcción, la consideramos más como una herramienta de gran utilidad y como tal es un apoyo importante en las fases del proyecto, ejecución de obra y tiempo de vida de una edificación. De manera sucinta, podemos decir que la IA permite contar con estadísticas actualizadas para el análisis de factibilidad de un proyecto y proporcionar alternativas sobre las cuales se puede emprender o continuar con investigaciones que deriven en la solución más adecuada. Los profesionales de la construcción hoy cuentan con sistemas cada vez más versátiles, amigables y de tecnología avanzada para el desarrollo de sus propuestas. Ya en la etapa de materialización, los equipos de IA permiten desarrollar procedimientos seguros, tanto para la integridad de los trabajadores como para la eficiencia de los procesos, desde el punto de vista constructivos, en tiempo y dinero, que factibilicen los objetivos y las metas.

Por otro lado, es innegable que la aplicación de la impresión 3D ha generado grandes expectativas en beneficio de la humanidad. Aunque su empleo en el sector construcción está en una etapa inicial, sus ventajas alientan expectativas para el futuro y el mejoramiento de la industrialización. Por ejemplo, posibilita la fabricación personalizada de prototipos, la producción de componentes con mínima variación dimensional y su aplicación *in situ*, reduce considerablemente los gastos de embalaje, manipulación y traslado. Sin embargo, persisten ciertas limitaciones: la necesidad de una alta preparación técnica y profesional, la falta de precisión cuando se sobrepasan ciertas medidas y los elevados costos de producción. A pesar de ello, podemos manifestar que la impresión en 3D es una herramienta con grandes posibilidades para el diseño y la construcción industrializada del futuro, aunque una influencia importante en el corto o mediano plazo está condicionada por su carácter experimental actual.

La industrialización – Hacia dónde vamos...

Las investigaciones orientadas a la conquista del espacio están dejando lecciones importantes para el desarrollo de la construcción en nuestro planeta. La humanidad, impulsada por su interés permanente en

explorar nuevos mundos, ha desarrollado programas de investigación con el fin de extender su dominio sobre el universo. En esta búsqueda, los científicos y profesionales se han visto en la necesidad de volver a las prácticas ancestrales, cuestiones como las condiciones geográficas y ambientales, el acceso a recursos y las limitaciones logísticas de construir en lugares remotos e inhóspitos.

El reto consiste en crear condiciones que garanticen una adecuada habitabilidad a través del diseño, la producción, construcción o fabricación de espacios, abiertos y cerrados, que permitan el desarrollo de actividades humanas. La diferencia radica en la tecnología avanzada que ahora se emplea, incorporando metodologías de diseño, procedimientos constructivos e instrumentos de alta precisión y eficiencia garantizada.

El proyecto *Luna Habitation*, de la oficina Foster & Partners, en colaboración con la Agencia Europea Espacial, ha llevado a cabo propuestas para la construcción de una base lunar utilizando impresión en 3D. Uno de sus valores más importantes, para nuestro tema de interés, es la aplicación de los conceptos de industrialización para construir en zonas de difícil acceso o inhóspitas, de las que hay tantas en nuestro país. Se toma en cuenta, por ejemplo, cómo resolver la dificultad del traslado de equipos, herramientas y materiales, lo que da lugar al uso de recursos de la zona.

En la etapa de experimentación del proyecto, ha sido utilizado un compuesto volcánico de la zona norte de Italia, con características casi exactas al regolito de la superficie lunar. El proceso consiste en que una impresora robot 3D va definiendo las capas de regolito sobre la cúpula proyectada, lo que implica que no es necesario transportar material pesado para la construcción. Otro concepto importante es la estructuración del edificio, en el que se aplican diseños en base a elementos alveolares que, en trama, se asemejan a la estructura ósea de las aves, muy ligeras y altamente resistentes. Si tomamos en cuenta la extensa variedad de maderas de las que se dispone en la amazonia, es posible encontrar opciones aplicables y replicables para poblaciones más alejadas de los centros urbanos.

El diseño modular, procedimiento estrechamente ligado al concepto de industria-



Utilización de impresión 3D. Proyecto Lunar Habitation, Foster + Partners.
Tomado de Lunar Habitation [Render], por FOSTER + PARTNERS
(<https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation>).

lización, ha sido uno de los recursos fundamentales para el proyecto espacial, pero además se incorpora otro concepto de gran importancia, que es la arquitectura (y edificación) artesanal, que tiene en su carácter sostenible, la fortaleza que le da vigencia y la proyecta hacia el futuro.

Así pues, la exploración espacial ha demostrado ser un impulsor inusual e inesperado para los avances cotidianos. Desde antes que la carrera espacial comenzara, se dedicó mucho tiempo al desarrollo de tecnologías con la capacidad de permitir el hábitat y las investigaciones en las condiciones extremas del espacio. Sin embargo, estas mismas innovaciones, han terminado integrándose a nuestro día a día a través de hogares, hospitales e industrias. “Desde los paneles solares hasta los amortiguadores sísmicos de los edificios, el impacto de la exploración espacial en nuestra vida diaria es innegable” (Borges, 2024, párr. 4).

Considerando que la evolución de los sistemas constructivos no ha tenido un salto cualitativo que implique nuevas condiciones de diseño, lo que se ha modernizado son las herramientas y procedimientos. El objetivo es construir más y mejor, no en términos de estética o buen gusto, que son conceptos subjetivos, sino en el sentido de obras de alta calidad constructiva, durables, de ejecución en plazos y costos, técnicamente adecuados y económicos.

La industrialización, no sólo entendida como un proceso de fabricación mecánica, significa aplicar conceptos como el diseño

modular que permita productos versátiles en disposición; esto proporciona posibilidades de crecimiento o reducción, facilidad de transporte, aceleración del tiempo de montaje e inalterabilidad de las formas originales cuando sea necesario el desmontaje y reubicación.

Sin embargo, a nivel Perú y Latinoamérica, salvo Brasil, la industrialización de la construcción no presenta avances de consideración, hay diferencia de niveles en cuanto al desarrollo en cada país, pero en ningún caso se podría configurar una tendencia de prolongada aplicación y resultados contundentes. Podemos estimar teóricos y razonables resultados benéficos, pero ni las estadísticas ni la realidad, masiva y continua, sustentan argumentos para garantizar el crecimiento en el inmediato o mediano plazo.

Son las obras de infraestructura, no tanto las de tipologías más cercanas al uso doméstico, las que representan la aplicación de metodologías de diseño y procedimientos constructivos más modernos. Por ejemplo, para la Línea 1 del Metro de Lima, los métodos para el vaciado de puentes o los tramos aéreos del tren eléctrico, se utilizaron encofrados deslizantes que simplificaron la tarea sin tener que interrumpir el tránsito vehicular, por tiempo prolongado, en las vías debajo de los nuevos elementos.

Otro campo de acción han sido los campamentos mineros, con instalaciones tanto temporales como definitivas, en las que nuevamente, las condiciones geográficas no son las más favorables para una construcción

convencional. Las alternativas de diseño y montaje son cada vez mejores para su implementación en territorios agrestes y climas radicales.

5. Industrialización de la construcción y sostenibilidad

Uno de los grandes desafíos de nuestra generación es encontrar el equilibrio entre desarrollo y sostenibilidad. Aspectos como el cambio climático, la depredación de los recursos y el desbalance ambiental, generado por la actividad productiva, deben ser cuestiones clave a considerar a la hora de plantear soluciones constructivas a gran escala. La actividad constructiva desempeña un rol importante en la economía alcanzando el 10% del PBI mundial. Asimismo, su impacto ambiental es significativo: utiliza el 40% de materias primas, consume el 36% de energía y es responsable del 39% de emisiones de CO₂ (International Energy Agency, 2017)

En este escenario, la relación entre arquitectura, materialidad e industria debe encontrar caminos sostenibles, capaces de responder de forma eficaz, no solo a la demanda cuantitativa –déficit de vivienda, equipamiento e infraestructura–, sino también a su comportamiento e impacto general en el planeta. Por ello consideramos la industrialización de la arquitectura, más que un fin, un medio por el que es posible alcanzar dichos objetivos.

En tal sentido, indicadores como el ratio de emisiones de CO₂ por metro cuadrado construido, la capacidad térmica y la demanda energética del proyecto construido son determinantes para evaluar su impacto ambiental. Así pues, aunque la diferencia entre el ratio de emisiones de CO₂ de la construcción industrializada versus la tradicional no sea demasiada amplia por ahora, –el ratio depende de los procesos industriales, la materialidad empleada y los procesos constructivos adoptados–, la posibilidad de reversibilidad, reutilización, reciclaje y adaptación de una edificación son aspectos clave a considerar en el análisis.

La naturaleza misma de la industrialización dota a esta arquitectura de la capacidad de, una vez acabado el ciclo de vida de un edificio, extraer las piezas en relativamente buen estado, reusar estos componentes en otras edifi-

caciones, reciclar los materiales que no puedan ser reutilizados o en su defecto, adaptar la edificación entera para un nuevo uso (León, 2021). En suma, la ventaja consiste en que es posible equilibrar y optimizar la utilización de recursos con la necesidad de construir a la velocidad que la demanda exige, manteniendo simultáneamente la calidad y el compromiso hacia el usuario y el medio ambiente.

6. Conclusiones

- La Revolución Industrial dio lugar a la arquitectura industrial, la cual se interpretó de diferentes formas: por un lado, la referida al edificio definido para determinado uso de producción mecanizada; por otro lado, al diseño destinado a la producción de piezas y elementos estandarizados de fabricación en serie que conformaron sistemas constructivos, lo que introdujo progresos en lo referente a los tiempos de construcción y a la reducción de su costo asociado.
- La forma de construir, en cuanto al diseño, no ha variado sustancialmente desde la aparición del concreto armado. Han evolucionado las formas de diseñar y construir, pero el cambio, a nuestro entender, no ha sido cualitativo. Se han mejorado tiempos y se han reducido costos, sin embargo, en la región latinoamericana no sería posible decir que estamos ante una arquitectura industrializada.
- La acción de *prototipar* es un paso necesario y relevante en el proceso industrial. La cuestión radica en ir más allá de la mera mecanización de los materiales para dar el salto hacia la industrialización de los componentes. Además, la construcción del prototipo, aparte de permitir el perfeccionamiento del modelo, hace posible una relación más directa con el usuario; de tal manera, que este puede intervenir en el proceso de ajuste, haciéndolo más democrático y participativo.
- La teoría de soportes brinda opciones viables para la aplicación de la industrialización de la construcción. La segregación de los elementos de soporte y de relleno, junto con la propuesta de un sistema de industrialización abierta, ofrecen opciones factibles donde cada uno de los actores urbanos involucrados puede asumir el papel

que le corresponde en la búsqueda del desarrollo y bienestar colectivo. Además, esta teoría hace factible la personalización –en el caso de unidades de vivienda–, lo cual es un factor importante para contrarrestar la opinión generalizada de que la industrialización deviene en propuestas monótonas, repetitivas y sin carácter propio.

- En Perú, ya se han dado algunos pasos notables en la aplicación de la construcción industrializada. El Plan Selva es un muy buen ejemplo que demuestra la factibilidad y ventajas de su uso, demostrando que, con un correcto entendimiento del lugar junto al aprovechamiento de la tecnología y el desarrollo industrial, se pueden lograr respuestas de calidad, versátiles y replicables.
- En el mundo, se puede encontrar ejemplos significativos que demuestren que con la industrialización, entendida como prefabricación, estandarización, construcción mecanizada y mantenimiento oportuno en su ciclo de vida, conceptos erróneamente relacionados a soluciones

masivas y repetitivas, es posible llegar a propuestas constructivas perfectamente personalizadas o caracterizadas para cualquier tipología de uso.

- No se debe dejar de mencionar el gran salto que se ha dado en la creación e implementación de los instrumentos de diseño como el AutoCAD o el sistema BIM en el contexto local; o la importante consideración del respeto a la naturaleza y la sostenibilidad, con el desarrollo de tecnologías como la impresión 3D in situ y la adopción de los criterios presentes en la arquitectura vernácula.
- El futuro se presenta con gran potencial de innovación y progreso. Las nuevas tecnologías y teorías nos invitan a imaginar una arquitectura variable, vanguardista, replicable y siempre vigente. Por ello, se hace imperativo un consenso, a nivel de la región, que permita el planteamiento de soluciones integrales y aplicables a cualquier ubicación geográfica, haciendo posible el desarrollo y el progreso de cada integrante en el contexto latinoamericano. ■

Notas

- 1 Para una información ampliada revisar nuestro trabajo: Chumpitaz, F. y Zúñiga, A. (2023). La vivienda, reactualizando retos. Actualizar: modernización a tiempo actual. Reactualizar: volver a hacer funcionar. ARQUITEXTOS (30) 38, pp. 51-70.
- 2 De acuerdo con el Ministerio de Educación (2014), el 75% de las escuelas requieren refuerzo estructural o

renovación completa y más del 80% de las escuelas rurales tienen problemas de acceso a servicios de agua y alcantarillado.

- 3 Tras la experiencia del Plan Selva, el Ministerio de Educación crea el programa Escuelas del Bicentenario 2018 en el que encarga el diseño de 5 Catálogos de Escuelas Modulares para las diversas zonas bioclimáticas del país.

Referencias bibliográficas

- Barnó, L. y Stepien, A. (2012). Las investigaciones del SAR. Industrialización abierta y vivienda. <https://stepienybarno.es/blog/2012/04/18/las-investigaciones-del-sar-industrializacion-abierta-y-vivienda/>
- Bender, R. (2021). Cambio. En A. Ribot, G. Altuna y D. García-Setien (Eds.), *Prototipar*. Colab.
- Borges, D. (2024). Designing for Two Worlds: How Space Exploration is Shaping the Future of Architecture on Earth [artículo]. Archdaily. <https://www.archdaily.com/1019663/architecture-beyond-earth-how-space-exploration-is-shaping-the-future-of-architecture?>
- Bos, M., Licheri, M. y Schwartz, L. (2018). *Escuelas del siglo XXI en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Escuelas-del-Siglo-XXI-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>

- González, P. (2021). *La industrialización de la arquitectura. Cuando las casas vienen de fábrica. Una nueva forma de hacer arquitectura*. Repositorio de la Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/66150/>
- International Energy Agency IEA. (2017). Global Status Report 2017. Towards a zero emission, efficient, and resilient buildings and construction sector.
- León, M. (2021). *Posibilidades de industrialización para escuelas públicas de la costa norte peruana. Propuesta de un pabellón de aulas tipo*. (Tesis de máster, Universidad Politécnica de Cataluña).
- Ministerio de Educación. (2014). Censo Escolar 2014 [Documento en línea]. <https://sistemas02.minedu.gob.pe/anda/index.php/catalog/34>
- Richard, R. (2021). Individualización e industrialización. En A. Ribot, G. Altuna y D. García-Setien (Eds.), *Prototipar*. Colab.
- Wachsmann, K. (2021). El punto de inflexión de la construcción Konrad. En A. Ribot, G. Altuna y D. García-Setien (Eds.), *Prototipar*. Colab.