

HÁBITAT, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN 4.0

Jesús Anaya Díaz | Silvia Arias Orozco | Catherine Arroyo Aguilar |

David Carlos Ávila Ramírez | Luis Borunda Monsiváis |

Fernando Córdova Canela | Yokasta García Frómata |

Dulce Esmeralda García Ruiz | Jaime Francisco Gómez Gómez |

Francisco Javier González Madariaga | Enrique Herrera Lugo |

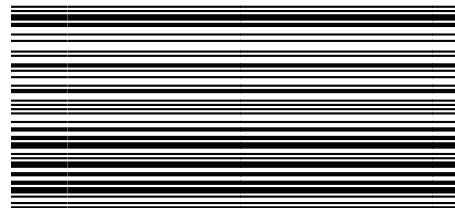
Manuel Ladrón de Guevara | Julio Peña | Gilkauris Rojas Cortorreal |

Gilberto Velázquez Angulo | Alejandra Villagrana Gutiérrez |

[Francisco Javier González Madariaga, Fernando Córdova Canela y Jaime Francisco Gómez Gómez, coordinadores]



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño



HÁBITAT, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN 4.0

HÁBITAT, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN 4.0

Jesús Anaya Díaz | Silvia Arias Orozco | Catherine Arroyo Aguilar |

David Carlos Ávila Ramírez | Luis Borunda Monsiváis |

Fernando Córdova Canela | Yokasta García Frómata |

Dulce Esmeralda García Ruiz | Jaime Francisco Gómez Gómez |

Francisco Javier González Madariaga | Enrique Herrera Lugo |

Manuel Ladrón de Guevara | Julio Peña | Gilkauris Rojas Cortorreal |

Gilberto Velázquez Angulo | Alejandra Villagrana Gutiérrez |

[Francisco Javier González Madariaga, Fernando Córdova Canela y Jaime Francisco Gómez Gómez, coordinadores.]



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Dr. Ricardo Villanueva Lomelí / Rector General

Dr. Héctor Raúl Solís Gadea / Vicerrector Ejecutivo

Mtro. Guillermo Arturo Gómez Mata / Secretario General

CENTRO UNIVERSITARIO DE ARTE, ARQUITECTURA Y DISEÑO

Dr. Francisco Javier González Madariaga / Rector

Mtra. María Dolores del Río López / Secretario Académico

Dr. Everardo Partida Granados / Secretario Administrativo

Diseño editorial: Rodolfo Sánchez Gómez

Imagen en portada: proyecto de construcción de vivienda y comunidades sustentables mediante impresión 3D de materiales arcillosos, Shamballa de WASP IBERIA, Gianluca Pugliese y WASP.

Primera edición, 2020

DR © Universidad de Guadalajara, 2020

Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

Calzada Independencia Norte núm. 5075

Huentitán El Bajo, CP 44250

Guadalajara, Jalisco, México

ISBN 978-607-571-041-9

La presente obra fue dictaminada por el Consejo Editorial del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. Esta obra no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, por ningún medio conocido o por conocer, sin el permiso previo y por escrito del titular del derecho de autor.

Introducción	9
Automatización de la construcción: oportunidades y retos hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible <i>Luis Borunda Monsiváis Manuel Ladrón de Guevara Gilberto Velázquez Angulo Jesús Anaya Díaz</i>	13
De la Industria 4.0 hacia la Construcción 4.0: una oportunidad de crecimiento <i>Jaime Francisco Gómez Gómez Francisco Javier González Madariaga Enrique Herrera Lugo</i>	41
La modelación de sistemas dinámicos para el monitoreo y gestión de recursos en edificios: propuesta de modelo sustentable de vivienda de interés social en el Área Metropolitana de Guadalajara <i>Alejandra Villagrana Gutiérrez</i>	57
Monitoreo de la eficiencia energética en edificios administrativos para la educación superior <i>Silvia Arias Orozco</i>	73

**Aporte de los programas informáticos de eficiencia energética
y ambiental en la construcción de edificaciones
para la Construcción 4.0**

Yokasta García Frómeta | Gilkauris Rojas Cortorreal | Julio Peña

93

**Enfoques eco-tecnológicos
del desarrollo sustentable y la vivienda social**

David Carlos Ávila Ramírez

119

**La robótica en la construcción como medio para reducir costos
en la vivienda de interés social en México**

Dulce Esmeralda García Ruiz | Catherine Arroyo Aguilar

141

**Construcción 4.0, explorando nuevas propuestas académicas
de incidencia desde la universidad pública en México**

Fernando Córdova Canela

169

Introducción

La presente obra constituye un primer esfuerzo coordinado desde el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD) de la Universidad de Guadalajara por abordar el complejo desarrollo del concepto Industria 4.0 y su aplicación subsidiaria en el sector de la construcción mediante la denominada Construcción 4.0, teniendo como principal objetivo el de permitir que los lectores especializados en las disciplinas relacionadas con la arquitectura, el diseño y el urbanismo tengan una herramienta tanto teórico-conceptual como de resultados de investigación aplicada que perfile cómo se desarrolla poco a poco la interpretación y la adaptación de la Construcción 4.0 de manera general en la producción del hábitat y, particularmente, de la vivienda.

Frente a un mundo globalizado en el que aparentemente priva la noción de determinismo tecnológico, la cual parece obligarnos a seguir incondicionalmente los estándares y regulaciones que surgen desde los países altamente industrializados, los trabajos aquí desarrollados plantean una visión crítica que obliga a reflexionar acerca del significado y la forma en que es interpretado y adoptado en nuestro país, incluyendo una experiencia latinoamericana, en lo general, el concepto de Industria 4.0 y, en lo particular, la Construcción 4.0, además de proponer, en algunos casos, directamente el papel que podrían jugar las instituciones de educación superior en este proceso.

El contenido del documento se articula en tres secciones temáticas, que en su conjunto tratan de visualizar aportaciones significativas desde la perspectiva del desarrollo teórico-conceptual y de investigación aplicada, comenzando

por los alcances conceptuales y oportunidades, para después exponer las aplicaciones en el hábitat y la vivienda, y culminar en la exploración de nuevos escenarios y entornos desde nuestra experiencia nacional. Adicionalmente podríamos decir que cada sección mantiene una carga específica de aspectos teórico-conceptuales y de investigación aplicada: en el caso de la primera, el énfasis teórico-conceptual es evidente; en la segunda, se enfatiza la investigación aplicada, y la tercera propone exploraciones tanto teórico-conceptuales como de investigación aplicada como senderos que podrían transitarse en el futuro próximo.

La primer sección, de alcances conceptuales, incluye dos capítulos, el primero trata la automatización de la construcción y su relación con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), en la cual se presenta una revisión de los marcos teóricos actuales, las prácticas de fabricación y los desafíos en la automatización de la construcción, y presenta una aproximación al potencial para alcanzar algunos ODS a través de casos de estudio vinculados al uso de tecnologías de ensamblaje de elementos por brazos robóticos e impresión 3D de gran escala. El segundo capítulo presenta algunas prácticas asociadas al concepto Industria 4.0 que tienen el potencial de apuntalar el concepto de Construcción 4.0. Se parte del análisis de lo que implica el concepto Industria 4.0 y se aborda el estudio de caso de un megaproyecto como antecedente de estas prácticas en la proyectación y la construcción, como lo es el Pez Dorado de la Villa Olímpica de Barcelona, proyectado por la firma Gehry Associates, para posteriormente hacer una breve revisión de algunas otras tecnologías asociadas a las prácticas actuales y cuáles son sus posibles beneficios en la construcción.

La segunda sección de aplicaciones en el hábitat y la vivienda está compuesta por tres capítulos de investigación aplicada; los tres capítulos abordan la simulación como elemento más común de adaptación de la Construcción 4.0; el primer capítulo apunta hacia la explicación de la conceptualización y estructuración de un modelo de vivienda sustentable dentro del Área Metropolitana de Guadalajara a partir de la integración de sistemas dinámicos para el monitoreo y gestión de recursos hídricos dentro de la misma, en donde la modelación pretende explicar el comportamiento de la infraestructura hídrica en la vivienda de interés social, primeramente bajo una perspectiva convencional, y, posteriormente, desde un escenario sustentable a partir del *software*

STELLA. El segundo capítulo analiza, mediante simulaciones, las condiciones de consumo de energía en las instalaciones administrativas y educativas, tomando como ejemplo el diagnóstico del espacio físico del Edificio Cultural y Administrativo de la Universidad de Guadalajara, para lo cual se vale del sistema de simulación virtual denominado «The Urban Modeling Interface» (UMI), el cual es un programa basado en la plataforma de «Rhinoceros», y que permite, a partir del análisis de las características morfológicas, la disposición de modelos tridimensionales del proyecto o de la construcción misma, desarrollar una serie de evaluaciones del comportamiento del edificio, para establecer los consumos energéticos y posibles medidas de ahorro. El tercer capítulo de la sección plantea un análisis energético a partir del *software DesignBuilder* aplicado a un caso de estudio representativo de las viviendas típicas en clima cálido-húmedo, para con esto establecer estrategias de mejoras pasivas, además de sugerir con un enfoque crítico las condiciones para seleccionar una herramienta adecuada de evaluación de la eficiencia energética y ambiental, y extrae conclusiones de todas las herramientas analizadas en el estudio.

La última sección aborda los nuevos escenarios y entornos de Construcción 4.0 en el hábitat y la vivienda desde la experiencia mexicana; aquí se exploran, desde diferentes perspectivas, estos escenarios, uno centrado en el cambio tecnológico en la vivienda, el cual es un tema subyacente en el proceso de adaptación e interpretación de la Construcción 4.0 en la vivienda, y que se expone en el primer capítulo al explorar teóricamente los diferentes enfoques vinculados al cambio tecnológico en la vivienda social en México, por lo que pretende establecer la relación entre el diseño tecnológico de la vivienda social y la sustentabilidad; el segundo, que propone explorar desde la investigación aplicada el cambio tecnológico en la producción de vivienda social orientándola hacia el uso de recursos robóticos, para terminar con un primer escenario comparativo de análisis de costos. El tercer capítulo examina el desarrollo de nuevas propuestas académicas relacionadas con la Construcción 4.0 desde la universidad pública en México, haciendo una primera aproximación conceptual vinculada con el desarrollo de una nueva propuesta académica para el CUAAD de la Universidad de Guadalajara, que parta de la incorporación del concepto Construcción 4.0, tanto en la adecuación como el desarrollo de nuevos programas académicos y de una estructura organizacional en red que articule la infraestructura tecnológica

y la investigación hacia la incidencia con un enfoque de producción social del hábitat, valiéndose del análisis crítico tanto del concepto de Industria 4.0 como de experiencias nacionales e internacionales relevantes que están relacionadas con la implantación de la Industria 4.0 y Construcción 4.0.

En síntesis, los contenidos propuestos abonan, por un lado, a mejorar el entendimiento de los alcances teóricos del concepto de Construcción 4.0 y, por otro, para tener una primera aproximación al incipiente desarrollo y entendimiento que desde la investigación aplicada se tiene de manera general de dicho concepto, principalmente en nuestro país, en disciplinas tales como la arquitectura, el diseño y el urbanismo, proponiendo de esta manera una mirada alternativa a la ola de determinismo tecnológico que parece acompañar al desarrollo de la también llamada Cuarta revolución industrial.

Automatización de la construcción: oportunidades y retos hacia los objetivos de desarrollo sostenible

*Luis Borunda Monsiváis
Manuel Ladrón de Guevara
Gilberto Velázquez Angulo
Jesús Anaya Díaz*

Introducción

La predicción del aumento de la población mundial demanda repensar las actuales prácticas de construcción para reducir el impacto negativo derivado de ellas. Con las herramientas informacionales actuales, el rol de la industria en la tarea de entrega de soluciones sostenibles para abordar los retos de hábitat está cambiando mediante un proceso de digitalización hacia la Construcción 4.0.

Una sociedad cada vez más digital (Negroponte, 1995) conlleva el desarrollo de métodos computacionales y la ineludible digitalización y transformación de la industria (Kelly, 2016).

La fabricación digital, aspecto fundamental para la automatización de los procesos constructivos, nace con la reciente posibilidad de vincular los diseños virtuales con su producción física, mediante herramientas controladas por ordenadores, descendientes del primer Molino por Control Numérico (Gershensfeld, 2012). La digitalización de diversas industrias de manufactura demostró aumentar enormemente su productividad en los últimos años; sin embargo, en el caso de la construcción, su racionalización y digitalización requiere aún el desarrollo de sistemas automatizados y robotizados (Bock, 2008). La industria de la construcción aún no ha visto un despliegue significativo de medios robóticos debido a su inherente complejidad, a causa de los entornos variables y la singularidad de la ejecución de cada uno de los trabajos.

Actualmente, la automatización de la construcción muestra importantes potenciales de aumento de la productividad gracias a los años de desarrollo técnico y experimentación, aunque no es un campo particularmente nuevo. Acercamientos al problema de establecer algoritmos de Control Numérico (CNC) en la construcción por robots tampoco es reciente (Haas *et al.*, 1995; Warszawski, 1984) y gracias a los avances recientes en computación y robótica, se están habilitando su implementación a gran escala (De Soto *et al.*, 2018).

Durante medio siglo, en arquitectura y construcción, la digitalización y la automatización han venido transformado profundamente la manera en la que diseñamos. La aparición de producción digital de planos en los años sesentas, la innovación del medio de visualización en los años ochentas, el advenimiento de estudios de arquitectura «*paperless*» enteramente digitales en los años noventas, y, actualmente, la transformación de la manera en la que construimos (Malé, 2016), son algunos ejemplos. Al alcance, tenemos un entorno de construcción robotizado (Bock, 2015), que vincula la impresionante precisión de los robots (Hack *et al.*, 2014) con el poder de cálculo del diseño computacional (Lynn, 1993). En este escenario, es viable la producción en masa de edificación personalizada (Carpo, 2017), de cualidades complejas (Dillenburger y Hansmeyer, 2013) y económicamente viable (De Soto *et al.*, 2018). La resultante reducción de residuos de construcción, significativos potenciales de customización, la mejora en la huella ecológica y la mejora de las condiciones de trabajo en entornos de riesgo se encuentran entre los principales potenciales de la automatización de la construcción para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El cambio en el pensamiento de diseño: de espacio análogo a espacio digital

El uso de lenguajes de programación en diseño abre territorios previamente inexplorados e impracticables. Cuando en los años noventas el lenguaje de continuidad y sin costuras reunía toda la atención de la especulación e investigación arquitectónica, y establecía en la CNC su estandarte de fabricación, hoy en día, el lenguaje de lo discreto, de fragmentos y partículas parece haber tomado

relevancia en el mundo de la investigación con la impresora 3D como bandera en manufacturación (Carpo, 2017).

Estos lenguajes no aparecen de manera aleatoria y caprichosa, sino que son producto del momento tecnológico computacional en el que vivimos. En los años noventas, gracias al nacimiento de softwares CAD, la curva en arquitectura dejó de ser un problema, de tiempo y complejidad para el diseño. Gracias al advenimiento del CAM, la curva se puede fabricar de manera simple, precisa y sin un coste extra. En el momento que la curva alcanza el mismo status que la línea, se empieza a ver un auge en edificios en los que las superficies curvadas no constituyen momentos puntuales, sino que empiezan a formalizar un nuevo lenguaje.

Saltándonos la década de los dos miles, donde el parametricismo (Schumacher, 2009) se impone como lenguaje en escuelas y estudios de arquitectura, y cuya relevancia es algo menor que la curva en los años noventas, la investigación en arquitectura y herramientas tecnológicas en la década del dos mil diez abandona la suavidad de las curvas por la discontinuidad de las partículas. Esta nueva corriente de pensar en arquitectura tiene principalmente un motivo: la introducción de lenguajes de programación en el diseño. La arquitectura utiliza, por primera vez, herramientas propias de las ciencias de la computación. El hecho de que por primera vez en la historia no diseñamos mediante un *feedback* puramente visual (Oxman, 1999), cambia el modo de entender e interpretar el diseño arquitectónico. Con la programación, la forma puede ser substituida por datos en el proceso de diseño, es decir, ya no manipulamos la representación geométrica de la forma, sino estructuras de datos. Más bien, la representación geométrica es consecuencia del diseño de algoritmos, y es usada como verificación de los datos que manipulamos. Esto tiene una repercusión enorme, ya que, por primera vez, el arquitecto puede aprender a pensar en términos computacionales, y tomar decisiones algorítmicamente.

En un enfoque más técnico, el arquitecto diseña en un espacio tridimensional que se ve relleno por puntos, líneas o superficies, por mencionar algunos arquetipos geométricos. Este espacio 3D es un espacio digitalizado, en el que reproducimos objetos con propiedades físicas. Es importante entender que, cuando hablamos de diseño a través de lenguajes de programación, el espacio 3D pasa de ser un espacio digitalizado a un espacio digital. Es digital porque un punto no únicamente es una referencia geométrica, sino que es un índice de in-

formación, un set ordenado de datos al que podemos acceder, con coordenadas x, y, z. Este índice puede tener tanta información como capacidad computacional tenga la herramienta donde trabajamos (Ladrón de Guevara *et al.*, 2019).

Naturaleza de la construcción robótica: diseño digital

La revolución informacional en la que nos encontramos inmersos (Rifkin, 2014) está alcanzando el mundo material a través de la fabricación digital, de la transformación digital del mundo físico (Gershenfeld, 2008). El procesador es a la revolución digital lo que la máquina de vapor es a la revolución industrial (Gaja, 2003). Esta transformación propone una serie de preguntas: ¿Cómo esta tecnología transforma las prácticas de construcción contemporáneas? Y, en particular, ¿qué tipo de cambios se introducen en la forma en que pensamos, desarrollamos y construimos arquitectura?

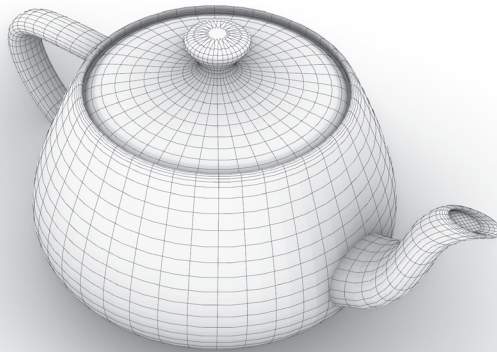


Figura 1. Modelo digitalizado, curvas NURBS describen la superficie o «piel» de una tetera. Elaboración propia.

Las nuevas tecnologías de diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM) están desafiando las prácticas de diseño

tradicional (Menges y Ahlquist, 2011) desarrollando un cuerpo de investigación y práctica en arquitectura digital (Oxman y Oxman, 2014). Al conectar el diseño computacional con la fabricación, CAD ya no es un equivalente analógico a «redacción asistida por computadora», sino que se convierte en un impulsor principal, un verdadero «asistente» computarizado, de intención de diseño (Negroponte, 1975), tal como fue concebido originalmente (Cardoso, 2015). Las prácticas actuales de diseño digital implican no solo una aproximación geométrica al objeto digital como en el CAD anterior, sino también una verdadera construcción digital del objeto (Kolarevic, 2003), podemos definir, simular, optimizar y constituir virtualmente un concepto digital para su posterior fabricación digital.

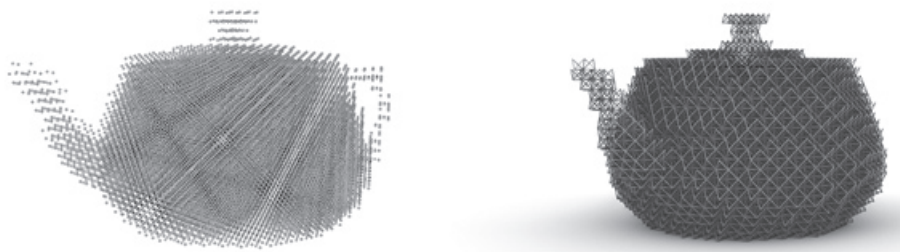


Figura 2. Modelo digital, discretización estructurada con 11,600 muestras del volumen de una tetera. Elaboración propia.

La digitalización del diseño y la construcción implica la transformación de los planos analógicos de «diseño y construcción» para la fabricación y la producción, en la implementación de flujos de trabajo «CAD-CAM» de diseño digital y producción automatizada. Esta metodología de trabajo basada en lo digital es fundamentalmente ajena a la industrialización. La producción de arquitectura a través de la manipulación de tipologías emerge con la anterior industrialización y, en consecuencia, requiere una actualización para incorporarse en la metodología que plantea la revolución informacional en la que estamos inmersos (Rifkin, 2014). La tipología plantea un escenario de repetición industrializable de modelos (Rossi, 1982), el modelo digital es un algoritmo, y plantea un escenario de personalización, basado en familias e instancias (Lynn y Kelly, 1999).

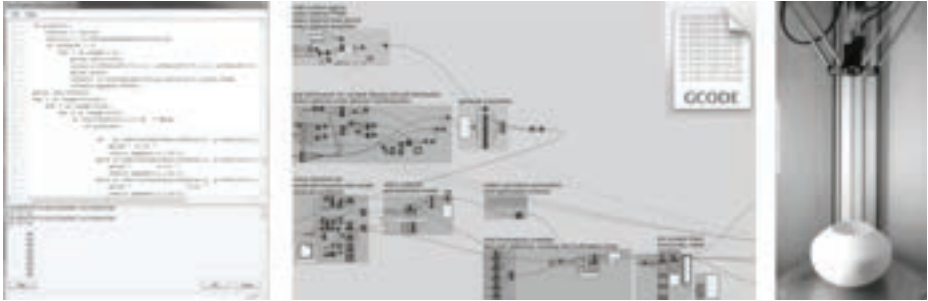
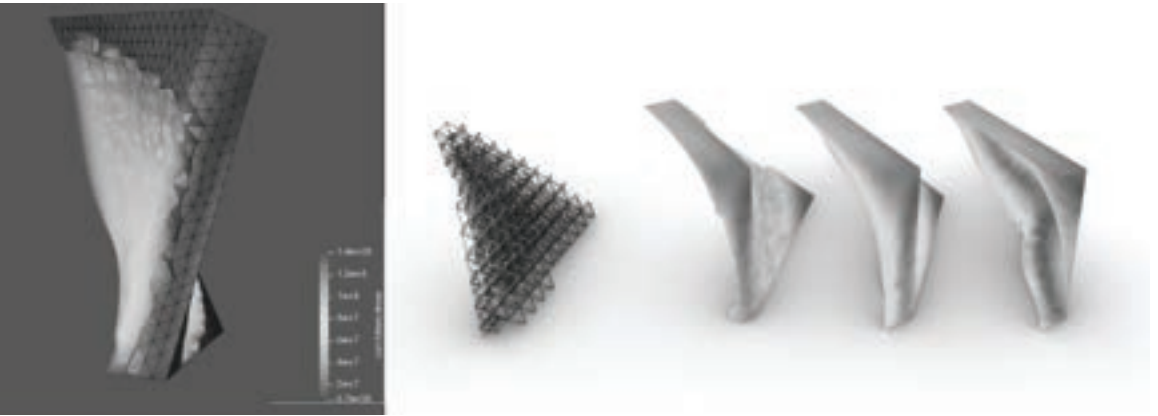


Figura 3. Interfaces de diseño algorítmico para la instanciación y producción de una tetera. Elaboración propia.

Fabricación digital

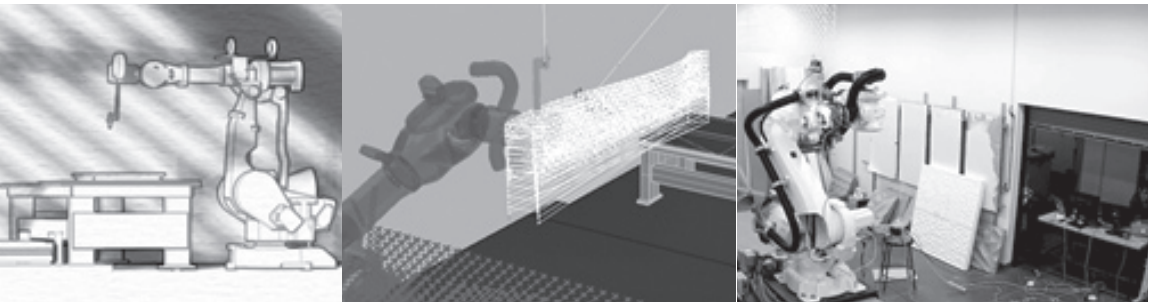
La construcción robótica requiere de la producción de un conjunto codificado de instrucciones de manufactura a partir del modelo digital; por lo tanto, exige la caracterización de las metodologías de diseño digital y las técnicas de fabricación digital para una implementación adecuada en la práctica de la arquitectura (Gramazio *et al.*, 2014). Para construir robóticamente, el trazado de planos es innecesario. El dibujo está compuesto por un código y ofrece la posibilidad de indexación, accediendo, organizando y caracterizando el modelo incorporando unidades discretas de información (Oxman y Rosenberg, 2007).

La arquitectura fabricada digitalmente se planifica, evalúa y optimiza a través de la simulación en entornos virtuales y bucles de retroalimentación durante la fase de diseño, entendiendo la construcción como parte integral del diseño (Willmann *et al.*, 2013). Una vez que se define un modelo digital, la información de la geometría y las calidades de los materiales se vuelven fácilmente accesibles y facilitan la interpretación para la creación de instancias de escenarios de fabricación específicos. Este procedimiento se compone de procesos de formación, sustracción y aditivos ejecutados por máquinas a través de instrucciones codificadas (Malé, 2016). Todas las coordenadas e instrucciones quedan encajadas en el código, de modo que el robot puede ejecutar las tareas mediante señales electromecánicas.



.....

Figura 4. Constitución digital de una membrana mediante la caracterización de unidades discretas en un modelo procesado por análisis de elementos finitos (FEA) para la diferenciación local en función de la resistencia. Elaboración propia.



.....

Figura 5. El entorno virtual del laboratorio de fabricación, DFab - Carnegie Mellon University, permite la simulación y verificación de procesos de fabricación robótica. Elaboración propia.

Dado que el impacto de los procesos de fabricación digital es insignificante en comparación con el proceso de fabricación de materiales, cualquier ahorro en el uso de materiales corresponde a una reducción en el impacto ambiental general de la construcción (Agustí y Habert, 2017). Además, el uso de tales técnicas de fabricación digital muestra mejoras significativas en las prácticas de

construcción actuales y el potencial de abordar varios objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en temas relacionados con:

- Uso eficiente del material.
- Seguridad y especialización en la construcción.
- Gestión de entornos complejos.

Los precursores de procesos robóticos como (Maeda, 1994), ya lograron reducir hasta el 70 por ciento de los desechos de construcción y alrededor del 50 por ciento de la mano de obra en el sitio (Bock, 2008). El principal problema para la implementación en masa es que los procesos robóticos se aplican con mayor facilidad en condiciones de laboratorio, donde se requiere un método repetitivo confiable. En cambio, las aplicaciones complejas a gran escala, como la construcción, han resultado ser un reto significativo (Kohler, 2014), pero el cuerpo de investigación y aplicación de la robótica de construcción a gran escala está aumentando exponencialmente (Chen *et al.*, 2018).

Mecanismos

El aspecto clave en el diseño digital para la fabricación robótica es la capacidad de comunicación de un conjunto de sistemas electromecánicos a través de señales digitales. Esto permite que un procesador organice, detecte y actúe las instrucciones para el control numérico.

Las máquinas NC combinan una herramienta maniobrable motorizada y, a menudo, una plataforma maniobrable motorizada, ambas controladas por un núcleo de computadora, de acuerdo con instrucciones de entrada específicas.

Actualmente, cualquier tipo de código que opere al grupo de máquinas para realizar un conjunto de tareas incluye las instrucciones de todas las operaciones de forma lineal. Cada tipo de máquina puede operar en diferentes lenguajes de código, pero son comunes en el funcionamiento a través de Salidas Digitales y Entradas / Salidas Digitales; estas entradas permiten la coordinación de las diferentes máquinas al interpretar las señales digitales de bajo voltaje para accionar mecanismos especializados.

El mecanismo robótico puede ser especializado para llevar a cabo una tarea única, como era común para los instrumentos en sistemas pioneros, o dividir el instrumento en un mecanismo de propósito general y un mecanismo de herramientas separado. Dado que cualquier componente en particular puede requerir el uso de varias herramientas diferentes, las máquinas modernas a menudo combinan múltiples herramientas en una sola «celda». Actualmente se investiga una amplia gama de iniciativas robóticas singulares que se están aplicando con éxito en la construcción. Se presentan varios mecanismos robóticos:

Brazos robóticos

Con seis grados de libertad (DoF), el brazo robótico posiciona y acciona la herramienta de fin de brazo, «End of Arm Tooling» (EOAT), y la herramienta de mecanizado realiza una tarea específica. La comunicación entre el robot y el mecanismo EOAT requiere de un accionamiento digital o mecánico. El accionamiento digital se realiza mediante la interpretación en un procesador de señales débiles programadas dentro del recorrido de deposición del robot. El procesador interpreta las señales débiles accionando cada uno de los componentes electromecánicos de la EOAT. La imagen muestra el sistema de extrusión personalizado y el diagrama de comunicación mediante señales débiles de *physical computing* desarrollado para la plataforma Arduino.

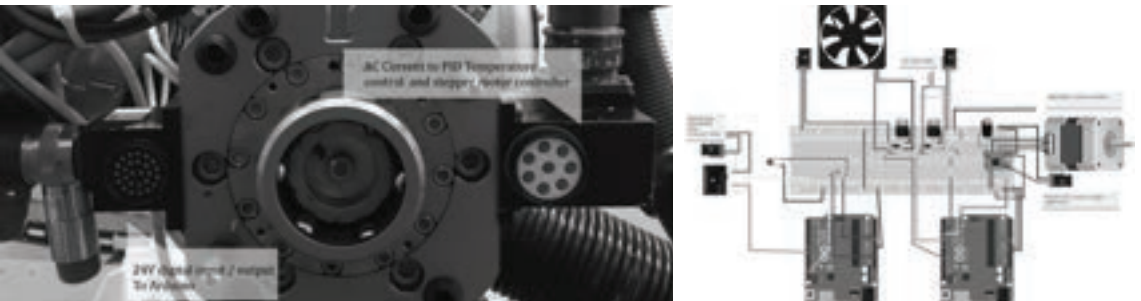


Figura 6. Digital I/O en brazo robótico para el accionamiento del EOAT. Elaboración propia

La señal emitida por el robot es interpretada por el arduino mediante la diferenciación de longitudes para activar equipamientos de extrusión con señales débiles del tipo Pulse Wave Modulated Signal (PWM).

La colaboración robótica es posible a través de la implementación de un sistema de coordenadas general, de modo que los mecanismos robóticos comparten el mismo espacio virtual (Ladrón de Guevara *et al.*, 2019).



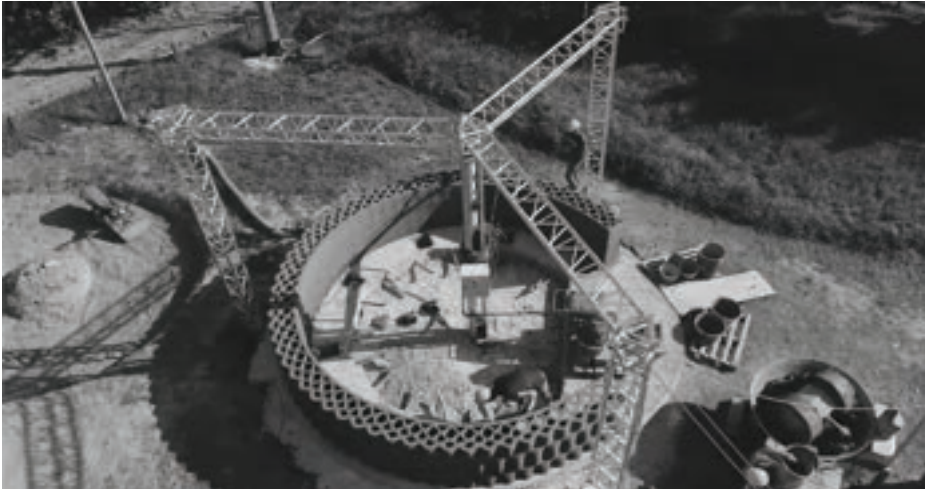
.....
 Figura 7. Colaboración de dos robots con herramientas de extrusión y agarre (2018).
 Elaboración propia.

Mecanismos CNC

Los enrutadores CNC industriales o impresoras 3D de consumo funcionan fundamentalmente de la misma manera pero con tres grados de libertad para el posicionamiento de la herramienta. Nuevamente, las instrucciones codificadas entregan instrucciones a través de E/S digital de bajo voltaje a sistemas generales y específicos, un grupo de motores para la posición y una herramienta especializada para la manipulación de materiales.

Mecanismos singulares o personalizados

Debido a la limitación en escala de sistemas de manufactura heredados de otras industrias, actualmente se están integrando sistemas especializados en el proceso de construcción. La asociación de Noumena, el Instituto de Arquitectura



.....
Figura 8. Proyecto de construcción de vivienda y comunidades sustentables mediante impresión 3D de materiales arcillosos Shamballa de WASP (2018). Reproducido con permiso de WASP..

Avanzada de Cataluña (IAAC) y TecNALIA, entre otras implementaciones exitosas, han construido un muro impreso en 3D con cable robótico (Izard *et al.*, 2017), apoyado por análisis de características superficiales mediante drones (<https://noumena.io/hello-world/>).



.....
Figura 9. Noumena NERO Networking Environmental Robotics and IAAC cable robotics 3D printed wall (2018). Reproducido con permiso de Aldo Solazzo y Edouard Cabay, IAAC..

Diseño digital a fabricación digital

La fabricación mediante CNCs, impresoras 3D y brazos robóticos tiene un punto en común: un código con coordenadas en el espacio y las instrucciones correspondientes. La complejidad aumenta de CNC a brazo robótico, y son muchas las estrategias empleadas para el diseño de un objeto y su posterior fabricación.

La fabricación mediante una de estas tres herramientas no conlleva necesariamente un diseño digital. Conlleva un diseño digitalizado. El diseño digital implica la manipulación de datos, y normalmente el proceso se extiende fuera del software de modelado. Por ejemplo, la fabricación mediante brazos robóticos requiere del diseño de una herramienta, (EOAT, por sus siglas en inglés «end of the arm tool») específica para esa tarea, la que se conecta al brazo versátil. La EOAT puede tener un microchip que controla el mecanismo, y este microchip ha de estar en comunicación con el brazo robótico para sincronizar movimientos e instrucciones. La comunicación se establece mediante unos pulsos eléctricos.

El término fabricación digital ha sido usado ampliamente para sumarizar todo aquel proceso en el que interviene una máquina controlada por un ordenador. En realidad, un proceso de fabricación completamente digital se debería entender si lo digital –es decir, los datos a su más bajo nivel– pasa a ser un código máquina y luego los pulsos eléctricos son manipulados directamente.

Prácticas de construcción robótica:

procesos de formación de estructuras de madera con brazos robóticos

Como parte del ASO Studio en Carnegie Mellon University, el diseño y la fabricación de una maqueta de una cercha estructural se desarrolló en primavera de 2017. El proyecto está dividido en dos partes: el diseño y desarrollo de un centro de natación en Schendley Park, Pittsburgh, y el diseño digital y fabricación robótica de una sección de una cercha de madera estructural. El diseño está hecho mediante herramientas de computación y los archivos de fabricación están sacados directamente del modelo digital.

El proceso está compuesto de una parte de diseño computacional, usando *Grasshopper* y *Kangaroo*, *loops* de optimización y *workflow* de fabricación ro-

bótica que consiste en el uso de HAL + RobotStudio softwares, y el desarrollo de las herramientas montadas en los brazos robóticos ABB 6640 y ABB 4400.

El diseño de este proyecto gira en torno a fabricación robótica combinada con una estrategia de diseño con un enfoque tectónico mediante *loops* de retroalimentación. La fabricación consiste en un proceso de doblado de madera mediante vapor. El diseño y la fabricación son procesos entrelazados, que se informan mutuamente. El objetivo es el desarrollo de una maqueta de una sección de una cercha de madera a escala 1:2. La estrategia de diseño imita la evolución de una célula, en la cual la cercha adquiere un crecimiento multilinear. Cada lado de la célula está compuesto de un aro de madera, hecho con cuatro piezas fabricadas mediante doblado por vapor. Cada cuarto de aro solapa con el siguiente para asegurar continuidad de curvatura y tangencial.

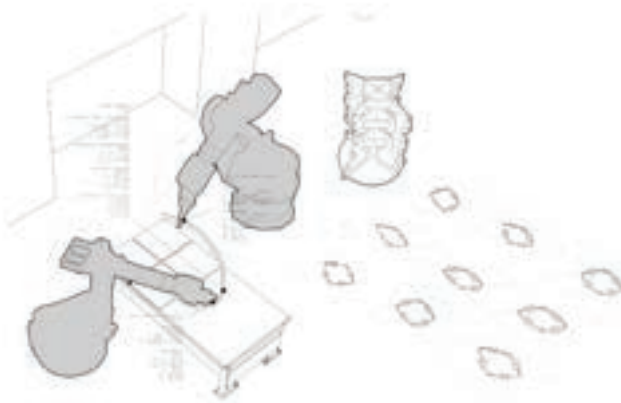


Figura 10. Estructura del proceso de fabricación. 6640 y 4400 ABB Robots coordinaron la personalización masiva de las partes de cerchas de muestra. Elaboración propia.

Para computar la célula, se usó *Grasshopper*, *Kangaroo* y *Python*. Una vez que el diseño de la pieza satisface las necesidades del proyecto, la información de la pieza se exporta a HAL, un *plugin* para *Grasshopper* que genera el código RAPID (el lenguaje del código que utiliza ABB). Un post-proceso de seguridad en *RobotStudio* es necesario para asegurar que la simulación del movimiento del robot corresponde con el resultado deseado.



Figura 11. Form finding simulation to create tool path for robot. Elaboración propia.

Prototipaje

Al principio del proyecto, se testearon maquetas de madera a escala más reducida a modo de ensayo para probar el comportamiento del material. Por otro lado, a la misma escala de fabricación, testeamos el movimiento del robot con láminas de espuma. Usamos dos brazos robóticos coordinados para doblar la madera que previamente ha pasado por un proceso de vaporización.

Fabricación robótica

Para fabricar el prototipo final testeamos un alto número de herramientas, que montadas en el brazo robótico, son necesarias para el proceso de fabricación. Son necesarias múltiples iteraciones para el correcto refinamiento de la herramienta. Un total de tres herramientas son necesarias para hacer en masa piezas a medida. Primeramente, una herramienta fijada a la mesa bloquea uno de los extremos de la pieza de madera. Una vez que se tiene la pieza de madera fijada en posición, el brazo robótico ABB 4400 posiciona una rueda cilíndrica en el punto de máxima curvatura que calcula el modelo digital. Esta rueda se queda

fija en su posición, y un segundo brazo robótico (ABB 6640) agarra, con una herramienta neumática, el otro extremo de la pieza de madera que no está fijo, y lo mueve lentamente hasta la posición deseada, usando la rueda cilíndrica como punto de apoyo para doblar la pieza. El lado de la rueda cilíndrica es perpendicular a la normal de la superficie de la madera doblada.

Después de la coordinación entre los dos brazos robóticos, la pieza de madera se queda fijada en posición para su correcto secado.

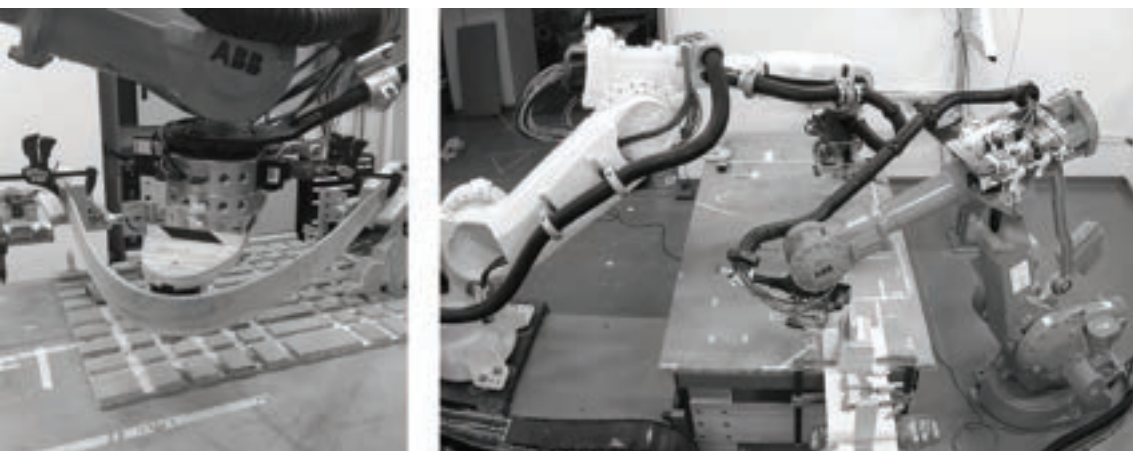


Figura 12. Form finding simulation to create tool path for robot.

Prácticas de construcción robótica: procesos de fabricación aditiva

La impresión 3D representa un nuevo paradigma de fabricación digital debido a su alta flexibilidad para producir geometrías complejas a bajo coste, altas prestaciones funcionales y mínima producción de residuos.

La posibilidad de optimizar la deposición de material en la fabricación aditiva es particularmente relevante por la reducción de gasto material, tiempo de fabricación y precisión, características que hacen de la técnica de fabricación aditiva robótica ideal para la producción de superficies estructurales de escala arquitectónica.

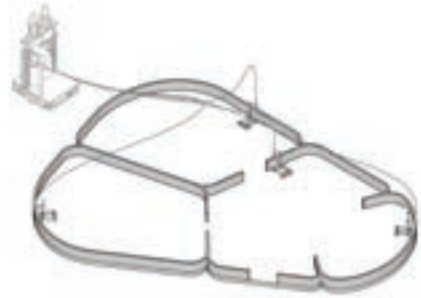
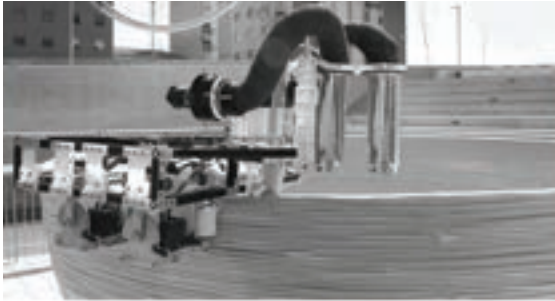


Figura 13. Minibuilders Project desarrollado en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña. Reproducido con permiso de Dori Sadan.



Figura 14. Impresora 3D de materiales termoplásticos con brazo robótico de 7 ejes para la construcción de membranas configuradas por teselaciones espaciales. Elaboración propia.

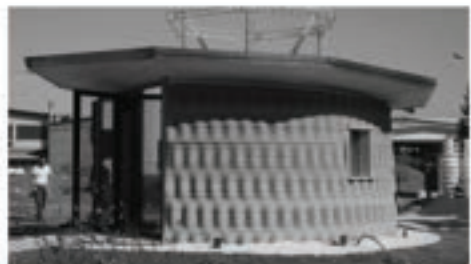


Figura 15. Impresora 3D de materiales arcillosos Infinity Crane de WASP. Reproducido con permiso de WASP Iberia, Gianluca Pugliese. Fotografía del autor.

Generalmente se da un marco de celosía que sujeta el mecanismo de extrusión, donde, al igual que en impresoras 3D comerciales, el mecanismo de extrusión se posiciona mediante el accionamiento de un conjunto de motores de tipo «stepper». Existen además avances en sistemas de posicionamiento más ligeros y escalables, como los constituidos por cables, o sistemas personalizados (<https://robots.iaac.net/>).

Es de especial interés la aplicación de la impresión 3D de gran escala a la fabricación de vivienda. La empresa italiana WASP recientemente ha publicado un sistema de impresión 3D de muros arcillosos, desarrollado para la producción en masa de vivienda de bajo coste y reducida huella ecológica.

En el proyecto Shamballa de WASP, el sistema de extrusión está alimentado por una bomba cuya potencia alcanza el valor máximo de 800 kW. Se asocia con un sensor de presión para controlar el flujo entrante. Se ha dado una forma planimétrica curva a la estructura realizada, lo que mejora la resistencia estructural. La sección transversal de la pared es, en cambio, alveolar, formada por una circunferencia interna, dos curvas sinusoidales y dos curvas cosinusoidales con ejes de las curvas circulares. La primera senoide y la primera cosenoide tienen la misma amplitud y frecuencia y comparten el mismo eje, cuyo radio es mayor que el de la circunferencia interna de una cantidad igual a la semiamplitud de las dos curvas. La segunda senoide y la segunda cosenoide tienen la misma frecuencia que las dos primeras curvas, pero una amplitud más baja; el eje que comparten las dos curvas tiene una forma circular con un radio igual al radio del primer eje aumentado por la semiamplitud del eje del segundo par de curvas. La tendencia sinusoidal de las curvas también está presente longitudinalmente, realizada al variar la amplitud de los sinusoides planimétricos a lo largo del eje vertical.

La complejidad que permite la deposición y el Control Numérico permite la caracterización de cada parte del muro, lo que mejora su rendimiento en aspectos tales como comportamiento estructural, térmico y ventilación. Tal geometría es imposible de fabricar mediante medios tradicionales. En el muro se crean tres series de cavidades, la más externa de las cuales se ha dejado hueca para permitir el paso del aire. En su lugar, los dos interiores se han llenado con cáscara de arroz, elemento de desecho en la producción del cereal, a fin de aumentar el rendimiento en relación con el intercambio de calor con el exterior.

El acto fundamental de la deposición es la colocación por control numérico del sistema de extrusor y la acción por un motor paso a paso Nema 17, conectado a un tanque (generalmente con una capacidad de 5 o 10 litros) dentro del cual el material se transporta hacia un tornillo capaz de alcanzar una presión de salida de 40 bar. Las altas presiones alcanzadas permiten la desgasificación del material arcilloso y el sistema de extrusión mixta (tornillo y presión) garantiza que el flujo sea manejable, interrumpiendo la deposición cuando sea necesario durante la impresión.

La mayoría de las impresoras 3D de gran escala tienen *firmware* tipo *Marlin*, lo que proporciona un lenguaje computacional común y pueden imprimir desde archivos *.gcode*, o también desde archivos *.stl*, procesando en este caso con software de corte como *SLic3r*, *Cura*, *Simplify 3D*.

El paradigma de fabricación capa a capa, por su parecido con la impresión 3D, es eficiente y fácil de implementar; otros mecanismos de impresión personalizados, sin embargo, requieren de un movimiento de sistema de extrusión más sofisticados. Estos sistemas requieren un posicionamiento en el espacio más complejo, por lo que, generalmente, requieren una escritura de *.gcode* personalizada.

Potencial de la automatización de la construcción para los objetivos del desarrollo sostenible

Para analizar los impactos potenciales de la automatización de la construcción sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se consideraron tres mejoras significativas que se tendrían con la fabricación digital sobre las prácticas de construcción actuales: uso eficiente de materiales, seguridad y especialización en la construcción y manejo de ambientes complejos. Para cada una de estas mejoras se asoció el ODS con el que se identifica una mayor vinculación para analizar las oportunidades y retos que se tienen al incrementarse de manera considerable el uso tecnologías de construcción robótica.

Uso eficiente de materiales- ODS 12

El ODS 12 busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (ONU, 2015). A continuación se mencionan algunas metas de este objetivo, con oportunidades y retos por la mejora en la eficiencia del uso de materiales que se tiene con la construcción robótica.

La meta 12.5 se enfoca en reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. En esta meta se tiene la oportunidad de reducir considerablemente la generación de desechos debido a que el proceso de construcción robótica es más preciso que la construcción manual en los cálculos de cantidades de materiales que se van a requerir en un determinado proceso y los tiempos de construcción en cada proceso se determinan de manera más precisa por lo que se tienen menos pérdidas de materiales que son sensibles al paso del tiempo (como es el caso del concreto).

La meta 12.6 alienta a las empresas, en especial a las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes. Agustí-Juan y Habert (2017) realizaron una evaluación ambiental de la fabricación digital y encontraron que la sostenibilidad de los proyectos dependen principalmente de la producción de los materiales de construcción; específicamente, los impactos de la fabricación digital eran insignificantes comparados con los impactos de procesos de manufactura de los materiales de construcción. Esto pone en relieve la importancia de considerar aspectos ambientales en la manufactura de los materiales que se van a utilizar en los procesos de construcción automatizada y el ahorro de materiales en proyectos de fabricación digital en comparación con la construcción convencional para reducir los impactos ambientales en la industria de la construcción.

La metodología más aceptada para informes de sostenibilidad de procesos de construcción y en la manufactura de materiales de construcción es la de Análisis de Ciclo de Vida (Ding, 2014, citado por Agustí y Habert, 2017), por lo que se recomienda se utilice esta metodología al evaluar los impactos ambientales de sistemas de construcción tradicionales y automatizados.

Seguridad y especialización en la construcción-ODS 8

El ODS 8 promueve el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos (ONU, 2015). A continuación se mencionan algunas metas de este objetivo, con oportunidades y retos que se presentan por la mejora en la seguridad y especialización en la construcción que se logran mediante la fabricación digital en la industria de la construcción.

La meta 8.2 busca lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra. La industria de la construcción es uno de los sectores con mayor valor añadido y con un uso intensivo de mano de obra y de los sectores que han tenido disminución o falta de crecimiento en su productividad en décadas recientes, donde otras industrias han aprovechado la automatización para mejorar su productividad, como la manufactura automotriz por ejemplo (Bock, 2015). García de Soto *et al.* (2018) encontraron que la productividad es mayor cuando se usan métodos de construcción robótica en estructuras complejas, lo cual permite una mayor especialización en la construcción al reducir la necesidad de mayor mano de obra para la realización de formas o estructuras complejas por cuestiones de funcionalidad o de estética.

La meta 8.3 promueve políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros. Con el crecimiento exponencial que se está dando en avances de investigación y pruebas de campo de automatización de la construcción se espera que haya una disminución considerable en la demanda de mano de obra en la industria de la construcción.

En los países en desarrollo, donde la construcción es uno de los sectores de uso intensivo de mano de obra (McKinsey Global Institute, 2012), se deben implementar políticas de capacitación de personal para que puedan participar activamente en proyectos de construcción robótica que es donde se tendrá una mayor creación de puestos de trabajo. En los países desarrollados la industria

de la construcción está siendo poco atractiva para jóvenes, lo que representa un reto para cubrir la demanda de mano de obra (Sisson, 2018), y en algunos países europeos y en Japón el envejecimiento de la población está provocando un déficit de trabajadores en la construcción que requiere de fuerza corporal significativa de sus trabajadores, por lo que la construcción robótica se convierte en una necesidad. Los retos y oportunidades de la construcción automatizada dependen del contexto económico, laboral y demográfico de cada país o región.

Manejo de ambientes complejos-ODS 11

El ODS 11 está enfocado en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. A continuación se mencionan algunas metas de este objetivo y cómo el manejo de ambientes complejos de la construcción robótica puede aplicarse para mejorar el acceso a viviendas y servicios básicos, así como a tener una urbanización más inclusiva y sostenible.

La meta 11.1 busca asegurar el acceso a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles, y mejorar los barrios marginales; la meta 11.3 busca aumentar la urbanización inclusiva y sostenible. Estas dos metas están relacionadas al acceso a vivienda y urbanización sostenible con acceso a servicios básicos. En el 2014 el 30 por ciento de la población urbana en regiones en desarrollo vivían en condiciones categorizadas como barrios marginales o asentamientos precarios, representando 880 millones de personas alrededor del mundo (United Nations, 2016). Los ambientes urbanos son complejos, por lo que no existe una solución estandarizada para la construcción de vivienda que ayude incrementar el porcentaje de población que tenga acceso a vivienda digna con servicios básicos adecuados, seguros y asequibles, además de los aspectos culturales que deben tomarse en cuenta en cuanto a materiales y formas de viviendas en diferentes países y regiones dentro de cada país.

Las aplicaciones complejas a gran escala, como la construcción, han resultado ser un reto para la fabricación digital (Kohler, 2014), pero la investigación y aplicación de la robótica de construcción a gran escala está aumentando exponencialmente (Chen *et al.*, 2018) con lo cual se tendrá un avance significativo para reducir el déficit de vivienda en barrios marginales. Actualmente hay un

boom de empresas tecnológicas enfocadas en la impresión de casas en 3D que van desde la impresión de refugios para emergencias en menos de 30 minutos con polímeros especiales (<https://www.ls2n.fr/>), impresión de una casa completa de 55 a 74 metros cuadrados en 24 horas con material formulado en base de concreto (<https://www.iconbuild.com/>), impresión de casa de arcilla en menos de diez días utilizando materiales de construcción locales del sitio de construcción (<https://www.3dwasp.com/en/3d-printing-architecture/>), hasta una residencia o villa completa de varios pisos en 45 días (<http://www.winsun3d.com/>), lo cual muestra que el futuro de la construcción automatizada está pasando ya de la investigación y desarrollo a la implementación, que se espera sea masificada en los próximos años (Carpenter, 2019).

La meta 11.5 busca reducir la cantidad de muertes, personas afectadas y pérdidas económicas por desastres, y la meta 11.6 se enfoca en reducir el impacto ambiental de las ciudades. La construcción robótica utiliza materiales especialmente formulados para cada aplicación que se va a realizar, cuidando los aspectos estructurales y de resistencia ante posibles impactos ambientales, además de la modelación que se realiza simulando diferentes situaciones antes de iniciar la construcción, por lo que las viviendas y edificaciones que resultan de la construcción robótica son más resilientes que las realizadas por autoconstrucción u otros medios que resulten económicos para la población de bajos ingresos, que son quienes resultan más afectados ante fenómenos naturales de alto impacto (huracanes, inundaciones, terremotos, etc.). En la construcción automatizada se tiene un uso más eficiente de materiales y se generan menos desperdicios, por lo que se reduce de manera significativa el impacto ambiental de la industria de la construcción en las ciudades.

Conclusiones y oportunidades

La Construcción 4.0 y la digitalización de los trabajos de edificación plantean un cambio de paradigma. El cambio presenta nuevos retos y oportunidades para abordar con nuevas herramientas computacionales algunos de los problemas relacionados con la crisis ecológica en la que nos encontramos inmersos. Para abordar los objetivos de desarrollo sustentable es fundamental aprovechar el

potencial aumento de productividad en el que incide la digitalización de la construcción a través de la implementación de nuevas metodologías de diseño computacional y nuevas técnicas de fabricación digital. La automatización de la construcción es un campo emergente que engloba distintas disciplinas, y exige discutir la labor tradicional de profesionistas en arquitectura y en ingeniería civil para incluir en el rango de sus capacidades herramientas computacionales que aborden la naturaleza del diseño digital, la caracterización virtual de la forma y la indexación la de información.

La fabricación digital y la automatización de la construcción incide positivamente en el proceso edificatorio, particularmente en cuanto al uso eficiente de material, la seguridad y especialización de las labores de construcción y la capacidad de manipular y ejecutar geometrías complejas. Se identifican tres ODS en los que incide significativamente la construcción automatizada mediante el uso de robots:

- Uso eficiente de materiales - ODS 12: metas 12.5 y 12.6
- Seguridad y especialización en la construcción - ODS 8: metas 8.2 y 8.3
- Manejo de ambientes complejos - ODS 11: metas 11.1, 11.3, 11.5 y 11.6

La construcción robótica y la digitalización de la industria de la construcción contienen un inmenso potencial de mejora de la productividad y reducción de huella ecológica, necesarios para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sustentable. Para alcanzar las mejoras que la Construcción 4.0 plantea es necesaria la incorporación de nuevas herramientas computacionales en cada fase del proceso, desde el diseño hasta la fabricación.

Referencias

- Bock, T. (2015). The future of construction automation: technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in construction*, 59, pp. 113-121.
- (2008). Construction automation and robotics. *Robotics and automation in construction*. InTech, pp. 21-42.

- Borunda, L., Ladrón de Guevara, M., Anaya, J. y Pugliese, G. (2019, marzo). Additive manufacturing building components. 4th International Conference on Technological Innovation in Building. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela de Ingeniería Civil.
- , Ladrón de Guevara, M. y Anaya J. (2018, noviembre). Human-machine collaboration practices case studies. Architecture Engineering and Construction International Conference. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- Cardoso, D. (2015). *Builders of the vision: Software and the imagination of design*. Routledge.
- Carpenter, S. (2019). 3D Printing in construction-how long does it take to print a house? *All3DP 3D printing magazine*. Consulta del 11 de mayo de 2019 en <https://all3dp.com/2/3d-printing-in-construction-how-long-does-it-take-to-print-a-house/>
- Carpó, M. (2017). *The second digital turn: design beyond intelligence*. MIT Press.
- Chen, Q., García de Soto, B. y Adey, B. (2018). Construction automation: research areas, industry concerns and suggestions for advancement. *Automation in construction*, 94, pp. 22-38.
- De Soto, B., Agustí-Juan, I., Hunhevicz, J., Joss, S., Graser, K., Habert, G. y Adey, B. (2018). Productivity of digital fabrication in construction: cost and time analysis of a robotically built wall. *Automation in construction*, 92, pp. 297-311.
- Dillenburger, B. y Hansmeyer, M. (2013). The resolution of architecture in the digital age. *CAAD futures 2013. Communications in Computer and Information Science 2013*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 347-357.
- Gaja, F. (2003). *Revolució informacional, crisi ecològica i urbanisme*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gershenfeld, N. (2012). How to make almost anything: the digital fabrication revolution. *Foreign Affairs*, 91(6), pp. 43-57.
- (2008). *Fab: the coming revolution on your desktop-from personal computers to personal fabrication*. Basic Books.
- Gramazio, F., Kohler, M. y Willmann, J. (2014). Authoring robotic processes. *Architectural Design*, 84(3), pp. 14-21.
- Haas, C., Skibniewski, M. y Budny, E. (1995). Robotics in civil engineering. *Computer-aided civil and infrastructure engineering*, 10(5), pp. 371-381.

- Hack, N., Lauer, W., Gramazio, F. y Kohler, M. (2014). Mesh mould: differentiation for enhanced performance. *Actas de la 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CUMINCAD*, pp. 139-148.
- Izard, J., Dubor, A., Hervé, P., Cabay, E., Culla, D., Rodríguez, M. y Barrado, M. (2017). Large-scale 3D printing with cable-driven parallel robots. *Construction robotics*, 1(1), pp. 69-76.
- Kelly, K. (2016). *The inevitable: understanding the 12 technological forces that will shape our future*.
- Kohler, M. (2014). Made by robots: challenging architecture at a large scale. *Architectural design*, 84(3), pp. 44-53.
- Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age*. New York: Spon Press.
- Ladrón de Guevara, M., Borunda, L., Ficca J., Byrne, D., y Krishnamurti, R. (2019). Robotic free-oriented additive manufacturing technique for thermoplastic lattice and cellular structures. *Intelligent & Informed*, actas de la 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, vol. 2, 333-342.
- , Borunda, L. y Krishnamurti, R. (2019). A multi-resolution design methodology based on discrete models. *Computer-Aided Design. «Hello, Culture»*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. J.-H. Lee (ed.): CAAD Futures 2019, CCIS 1028, pp. 1-14.
- Lynn, G. (1993). Architectural curvilinearity: the folded, the pliant and the supple. *Folding in architecture. AD*, pp. 8-15.
- y Kelly, T. (1999). *Animate form*. Nueva York: Princeton Architectural Press.
- Maeda, J. (1994). *Development and application of the SMART System. Automation and Robotics in Construction XI*. Amsterdam: Elsevier, pp. 457-464.
- Malé, M. (2016). *El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura : hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Menges, A. y Ahlquist, S. (2011). *Computational design thinking: computation design thinking*. John Wiley & Sons.
- Negroponte, N. (1995). *Being digital*. Nueva York: Random House Vintage Books.
- (1975). The architecture machine. *Computer-Aided Design*, 7 (3), pp. 190-195.

- ONU. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015.
- Ottoson, O. (1938). *Teapot*. United States: 2,135,410.
- Oxman, N. y Rosenberg, J. (2007). Material-based design computation. An inquiry into digital simulation of physical material properties as design generators. *International journal of architectural computing*, pp. 26-44.
- y Oxman, R. (2014). *Theories of the digital in architecture*. Nueva York: Routledge.
- (1999). Educating the designerly thinker. *Des. Stud* 20, 105-122.
- Rossi, A. y Eisenman, P. (1982). *The architecture of the city*. Cambridge: MIT Press.
- Rifkin, J. (2014). *The zero marginal cost society: the internet of things, the collaborative commons, and the eclipse of capitalism*. St. Martin's Press.
- Schumacher, P. (2009). Parametricism: a new global style for architecture and urban design. *Archit. Des.*, 79, pp. 14-23.
- Sisson, P. (2018). Construction industry, mid boom, can't find enough skilled workers. En <https://www.curbed.com/2018/1/23/16910310/construction-homebuilding-labor-shortage-jobs-vocational-training>
- United Nations. (2016). *The sustainable development goals report 2016*. United Nations.
- Warszawski, A. (1984). Application of robotics to building construction. Actas de la 1st. International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- Willmann, J., Gramazio, F., Kohler, M. y Langenberg, S. (2013). Digital by material. *Rob / Arch 2012 2013*, Viena: Springer, pp. 12-27.

Contactos de los autores

- LUIS BORUNDA MONSIVÁIS
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
lborunda.eco@etsav.cat

- MANUEL LADRÓN DE GUEVARA
Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Estados Unidos
manuelr@andrew.cmu.edu
- GILBERTO VELÁZQUEZ ANGULO
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México
gvelazq@uacj.mx
- JESÚS ANAYA DÍAZ
Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España
jesus.anaya@upm.es

De la Industria 4.0 hacia la Construcción 4.0: una oportunidad de crecimiento

Jaime Francisco Gómez Gómez
Francisco Javier González Madariaga
Enrique Herrera Lugo

Introducción

La integración de los procesos digitales en la cadena de valor de la industria manufacturera y en las organizaciones ha propiciado nuevas formas de interacción entre actores, recursos y procesos. Mientras que para muchos la digitalización solo se habría limitado a la representación básica de los planos ortogonales para la fabricación de componentes industriales, o bien de edificios completos, es decir, replicar la mesa de dibujo en la pantalla de la computadora, para otros, este proceso representó la oportunidad de explorar formas de eficientar la proyectación y flexibilizar la manufactura de bienes de diversa índole, siendo la conectividad en redes el elemento fundamental. El concepto de Industria 4.0 se originó en Alemania y se adoptó en el Parlamento de la Unión Europea para enfrentar a los retos de la economía global. El concepto de Industria 4.0 se caracteriza por seis elementos: interoperabilidad, virtualización, descentralización, capacidad en tiempo real, orientación al servicio y modularidad (Smit, Kreutzer, Moeller y Carlberg, 2016).

Lasi, *et al.* (2014) exponen dos direcciones distintas para el funcionamiento de lo que denominan Industria 4.0 como un proyecto a futuro: una primera que supone nuevos requerimientos del mercado en los que se rompe con las economías de escala, implicando la exigencia de periodos de desarrollo e innovación cada vez más cortos, la individualización sobre demanda, la flexibilización, la descentralización, y el uso eficiente de los recursos. La segunda dirección com-

prende el empuje de las nuevas tecnologías, destaca las tecnologías móviles y sus herramientas asociadas (*Apps*, *Web 2.0*, etc) y la impresión 3D o manufactura aditiva, lo cual propició el incremento en la automatización de los procesos, la digitalización y el trabajo en red y la miniaturización. No obstante las características mencionadas, los propios autores explican que, dada la multiplicidad de conceptos que integran este término, no es posible definirlo desde una sola disciplina.

Por otro lado, Oesterreich & Teuteberg (2016) destacaron detalladamente cómo esta dinámica digital ha favorecido la innovación en diversas áreas, y señalan que, pese a ello, uno de los sectores de mayor participación en los indicadores económicos en la economía global es la industria de la construcción, la que, paradójicamente, no se ha involucrado en este proceso. A continuación se expondrán algunos ejemplos que pueden contribuir a la comprensión del proceso digital dentro del sector de la construcción.

La escultura del Pez Dorado de Barcelona: un antecedente de Industria 4.0 en la construcción

Dado que no existe una cronología precisa que documente las primeras prácticas relacionadas con la digitalización y automatización en la construcción, en el presente trabajo se propone la revisión de algunos casos que pueden servir de ejemplo y punto de partida. Cobra relevancia el testimonial de algunos profesionales involucrados en la utilización de estas tecnologías que se encontraban en fase de desarrollo, pero que permitieron valorar su potencial.

El caso de la escultura *El pez dorado* (1992), de Frank Gehry en Barcelona, ilustra el cambio de enfoque en torno a la proyectación y ejecución de los proyectos, y se puede considerar como un antecedente del concepto de Construcción 4.0. Dennis Shelden (2002), ejecutivo en jefe de tecnología dentro de la firma, explica cómo enfrentaron el reto de lo que él mismo denominó, superar la «tiranía de la geometría de Euclides» (Shelden, 2002, p. 25) para acercarse a otras herramientas y métodos que les permitieran resolver no solo una cuestión puramente formal, sino también constructiva y estructural. Se trataba de resolver el problema de las limitaciones de las vistas ortogonales como medio de

comunicación de especificaciones técnicas para la construcción de geometrías de mayor complejidad.

Es bien conocido, y como lo documenta el propio Shelden, que el proceso de diseño dentro de esta firma basa gran parte de su desarrollo conceptual en modelos físicos «como vehículo para la exploración del diseño» (Shelden, 2003, p. 26), lo cual, a su vez, lleva al diseño más allá de las limitaciones de las vistas ortogonales. A pesar de ello, él mismo observa que ese proceso de modelado físico no significaba garantía de la «constructibilidad» del proyecto a escala real y, precisamente por ello, este proceso previo a la adopción de prácticas de cómputo más avanzadas en su firma resultaba complicado, no solo para el diseño sino también para el desarrollo de la documentación técnica necesaria para la construcción. Para afrontar la complejidad que representaba el tipo de construcciones de esta firma, hacia inicios de la década de 1990 comenzaron a valorar diversas tecnologías de modelación digital en tres dimensiones (3D), entre las que destacan las aplicaciones para la animación, el diseño automotriz y el aeroespacial. El caso de la escultura del *Pez* (1992), fue una oportunidad perfecta para evaluar la representación digital como medio para la generación de la documentación técnica para su construcción, y así las decisiones para la obra se tomaron en dos momentos distintos.

El primer momento constituyó una toma de conciencia respecto a las posibilidades que ofrecen tecnologías poco o nunca antes aplicadas a la proyectación arquitectónica; se trataba del nivel inicial de la representación computacional de la obra. Esto permitió a la firma experimentar con tecnologías aplicadas con éxito en otras industrias, y en este caso particular trabajaron con herramientas utilizadas primordialmente en el sector de la aeronáutica, la ingeniería naval y el sector automotriz, siendo el software *CATIA* (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*, de la compañía Dassault Systemes) que ya entonces era capaz de incorporar tecnologías de superficies algorítmicas libres basadas en curvas Bezier. *CATIA* ofrecía un módulo de análisis de superficies además de tener la capacidad para aplanarlas y desarrollar el corte de los patrones para su posterior costura en un objeto tridimensional. A pesar de que estas primeras superficies no eran del todo exactas, fueron lo suficientemente descriptivas para obtener la envolvente real de la escultura (Shelden, 2002).

El segundo momento surgió precisamente con el análisis de la geometría

generada, que además de ser editable y ajustable, también presentaba la ventaja de poseer propiedades físicas que se asociaban a una base de datos de materiales. Si la geometría tiene propiedades y pueden ser ajustadas de acuerdo a requerimientos estructurales, también es posible su fabricación, lo que lleva al tercer momento en donde se da el salto cualitativo de abandonar la representación del plano bidimensional en papel, a la manufactura del componente; ya sea a partir del desdoblamiento o desarrollo de la geometría de las superficies de doble curvatura, o bien a partir de la manufactura por desbaste por control numérico, o por medio de métodos de manufactura aditiva de componentes de complejidad variable. Finalmente, durante la ejecución del proyecto, según comenta el propio Shelden, se observó que mientras la conclusión de esta obra se efectuó en tiempo y forma, paralelamente en el complejo de Pabellones se estaba trabajando con retrasos y frecuentes modificaciones sobre la marcha en los componentes constructivos.

Toda vez concluido el ejercicio, a través de la experiencia se observaron algunos beneficios puntuales los cuales a la fecha se han replicado en la empresa, a pesar del rezago tecnológico ya reconocido en el sector de la construcción (McKinsey and Company, 2017). Además de la optimización de la geometría para la manufactura, adicionalmente se logró mejorar la interacción entre los miembros de la organización, lo que para ese momento representó un gran avance en la comunicación entre los involucrados, incluyendo a los contratistas y proveedores de la firma, esto a través de la incipiente comunicación en red sustentada por medio de correos electrónicos y una página web dedicada y compartida (Shelden, 2002, p.41). Esta experiencia abrió la perspectiva al despacho de proyectar estructuras cada vez más osadas, no sólo en el aspecto puramente estético, sino también de contribuir en el cálculo estructural y la propia ejecución de la obra.

En este sentido, tomando en cuenta las seis características de lo que constituye Industria 4.0 (Smit, Kreutzer, Moeller y Carlberg, 2016) se puede decir que este proyecto las cumple de acuerdo a los siguientes aspectos:

- La interoperabilidad entre los actores, que a pesar de carecer de la conectividad en red que caracteriza el mundo cuando esto se escribe, este modo de trabajo colaborativo cobró mayor relevancia en el proceso

- La virtualización, en etapas tempranas; la definición geométrica lograda permitió, además del desarrollo volumétrico, la simulación mecánica y posterior vínculo con los procesos de manufactura CNC a partir de dicha geometría «aplanada».
- Descentralización, apoyada en las primitivas herramientas en línea, como el correo electrónico y el sitio web compartido; se logró tener una comunicación más expedita fuera de una sola entidad y a consecuencia de ello:
- Capacidad de respuesta en tiempo real, dado que el control de actualizaciones y cambios se llevó a cabo con agilidad, y a su vez se logró integrar los procesos de automatización de los proveedores para flexibilizar la manufactura de los componentes
- Orientación al servicio, situación solventada por la propia compañía, más allá de lo esquemas contractuales tradicionales, a manera de consultoría de la propia firma hacia sus proveedores en el proceso de interpretación y ejecución de la encomienda, tendiendo un puente entre las tecnologías contratadas y las propias
- Modularidad, aportada a través de la adaptación flexible a los constantes cambios de requerimientos, esto mediante la modificación de módulos específicos en la geometría.

Como obra ejemplar en el contexto de la construcción, *El pez dorado* de la firma de Gehry sin duda alguna funcionó como un catalizador para la transformación de la propia firma, no sólo por el hecho de la adopción de las tecnologías para la ejecución, sino porque se supieron aprovechar los nuevos recursos para el potenciamiento del proceso creativo. Si bien en el tiempo de la ejecución de la obra no existía la interconexión en red como se le conoce hoy, salvo en lo relativo a la manufactura de componentes mediante control numérico, el hecho de contar con una plataforma robusta para la gestión de la información, de la geometría y su manufactura, constituyó un paso importante para la integración horizontal y vertical de las diversas industrias involucradas con la cadena de valor en el proceso de construcción. Por otro lado, aunque se trata de un proyecto fuera del ámbito de la vivienda, en el contexto actual esta experiencia puede ser replicable dado que las tecnologías de hoy, por sus capacidades y relación costo beneficio, resultan atractivas para el trabajo innovador en este sector.

De la Industria 4.0 hacia la Arquitectura y la Construcción 4.0

A pesar de que han transcurrido algunos años desde que este proyecto se desarrolló, estas prácticas no han sido del todo adoptadas de manera generalizada por proyectistas y constructores, aunque destacan excepcionalmente algunas figuras de renombre como el estudio de Zaha Hadid, quien es el referente más conocido, pero con un fuerte enfoque a la composición geométrica y a los megaproyectos. Los profesionales que han adoptado buena parte de estas tecnologías en la arquitectura las emplean principalmente para la correcta ejecución y control de la geometría de las edificaciones para mediante la virtualización o la realidad aumentada (denominadas *realidades mixtas*), lograr experiencias inmersivas con usuarios y contratistas a efecto de mostrar los edificios y su correspondiente equipamiento. No obstante, el salto hacia la automatización no se ha dado con la misma amplitud. Una posible razón es que el proceso de construcción sigue siendo, al menos en países como el nuestro, un proceso basado en la interpretación de planos y especificaciones para posteriormente ejecutar la edificación de manera manual, siendo los componentes constructivos elementos que requieren de intensivo uso de la mano de obra.

A pesar de que el término Industria 4.0 nos remite a un entorno basado en la interconectividad y la digitalización como plataformas para el sostenimiento del concepto y el desarrollo de los negocios (Kagermann, *et al.*, 2016), en el ámbito de la arquitectura y de la construcción, poco es lo que se ha abordado. No obstante lo mencionado, la incorporación de estas herramientas a la práctica ha sido objeto del interés tanto de la academia como de los profesionales en ejercicio. Desde el ámbito académico y de la investigación destacan los trabajos orientados, en primera instancia hacia la conectividad que deriva en el cómputo en la nube (*Cloud computing*) (Schmidt *et al.*, 2015) y la internet de las cosas (*Internet of Things, IoT*) (Zhou, Liu y Zhou, 2015) con un fuerte enfoque a la automatización de los servicios de la vivienda, donde se va más allá de los temas de la energía eléctrica, las instalaciones hidráulicas y el gas. Estos servicios comprenden el control climático de la vivienda, la intensidad y color de la iluminación, así como los aspectos del funcionamiento de los componentes tecnológicos de áreas como la cocina, el lavado o el mantenimiento de la propia vivienda. En otros ámbitos ya es posible el control y programación de los pro-

cesos de manufactura de manera remota, pero en el tema de la edificación, por sus características, aún no se ha implementado ampliamente.

Otra línea de interés se dirige hacia la manufactura, aditiva o por control numérico. En este aspecto, es importante señalar que en la industria manufacturera se utilizan distintas tecnologías de impresión en tres dimensiones, siendo las más comunes las de impresión con filamento o *Fused Deposition Modeling* (FDM, o Modelado por Deposición de Fundido), pero las hay de otros tipos, como lo son el curado por rayo laser, por corte de capas laminadas, por inyección de aglutinante sobre cama de sustrato en polvo o de alambre metálico (Ma, Wang y Ju, 2017). Tecnologías de este tipo aplicadas a la construcción han permitido, al menos en el campo de la investigación, la inclusión de materiales poco o nunca utilizados en dicha industria, como lo es el caso del plástico reforzado con fibra de carbono, teniendo como ejemplo el proyecto Additive Manufacturing Integrated Energy (AMIE), desarrollado por Oak Ridge National Laboratory, en el que se implementó una solución integrada para la generación, uso y almacenamiento de la energía eléctrica sin cables (Oak Ridge National Laboratory, 2015). Este proyecto se desarrolló a efectos de demostrar la viabilidad técnica de armonizar la producción y el consumo de energía eléctrica entre un vehículo y la casa habitación. Para tal efecto, se imprimieron tridimensionalmente, tanto un módulo habitacional remolcable como un vehículo todo terreno, donde ambos se interconectan por sistemas inalámbricos a través de los cuales no solo se lleva a cabo la transferencia de datos, sino de la energía compartida. Para su diseño y fabricación intervinieron, además de la firma Skidmore, Owings & Merrill, un conglomerado de empresas que aportaron las diversas tecnologías contenidas en los prototipos.

Por otro lado, en los últimos años se han desarrollado tecnologías de impresión 3D basadas en la aplicación de capas de materiales cementantes, que replican el funcionamiento de las impresoras convencionales de escritorio pero que permiten imprimir objetos de mayor tamaño mediante sistemas de gran escala. Ejemplos de algunos desarrollos con estas tecnologías son el puente de Alcobendas, en Madrid, del Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña (2016) o la casa impresa en 3D de Marco Ferreri (2010). Ma, Wang y Ju (2017) identificaron tres tipos de tecnologías genéricas que permiten la impresión de este tipo de materiales: *D-shape*, *contour crafting* y *concrete printing*. A excepción de *D-Shape*,

que funciona como una impresora con tecnología tipo *binder jetting* (inyección de aglutinante capa por capa sobre cama de polvo, similar a la impresión de tinta sobre papel) éstas funcionan a base del mismo principio de las extrusoras de las impresoras FDM de escritorio; sin embargo, en lugar de utilizar un polímero en estado viscoso, depositan mezclas de concreto u otros materiales cementantes en proceso inicial de fraguado. De estas tres tecnologías, la que, según Ma, Wang y Ju tiene mayor potencial para ser adoptada en la construcción de vivienda es la tecnología *contour crafting*, esto por tratarse de un brazo robot multieje que no tiene las restricciones de movimiento de los andamiajes de las otras dos tecnologías, además de poseer un cabezal de impresión amplio, lo que permite un trabajo comparativamente veloz respecto a las otras dos técnicas y al sistema tradicional. La desventaja que presenta es la resolución de la impresión, que da como resultado superficies demasiado rugosas (15 mm) en comparación con las otras dos tecnologías (0.15 mm y 9-20 mm). Vale comentar que al igual que con las tecnologías FDM de escritorio, al incrementar la resolución de la impresión 3D, hay un aumento directamente proporcional en el tiempo de fabricación.

Merece especial atención el tema de los materiales para impresión 3D dado que, a pesar de lo limitado que comparativamente pueda resultar el menú respecto a los materiales poliméricos en otras industrias, hoy en día se dispone de una variedad que requiere de estudio previo a su utilización. Perrot, Sonebi y Anziane (2019) los clasifican en dos grandes grupos: Materiales no fibrosos, y materiales fibrosos. El primer grupo es adecuado tanto para tecnologías tipo *D-Shape* como *contour crafting*. De manera general, se ha reportado que estos materiales permiten la impresión de mezclas cuasi-isotrópicas (Nerella *et al.*, 2016) y presentan una resolución superficial bastante fina, sobre todo en *D-Shape* (3D Prinhuset A/S, 2016). Respecto a los materiales fibrosos, en su gran mayoría son utilizados por métodos basados en extrusión.

En lo que respecta a los materiales cementantes para impresión 3D por extrusión, se deben considerar los siguientes aspectos (Ma, Wang y Ju, 2017):

1. la facilidad para extruir el material de manera controlada;
2. la fluidez del material pastoso en proceso de fraguado;
3. el control de su edificabilidad;
4. el control de las propiedades mecánicas;

5. el ajuste del tiempo de impresión y
6. el control de las contracciones durante el fraguado .

Los primeros dos puntos están relacionados con la calidad de la hechura de las pastas, las cuales, además de su composición química, en gran medida son dependientes del tamaño y geometría de la partícula del componente principal y de los agregados de la mezcla, lo que en última instancia afecta la viscosidad del material. El tercer punto, en este contexto, refiere a la cualidad de la pasta que, aún sin secar, deberá ser lo suficientemente fluida para ser expulsada a través del cabezal de la extrusora, pero lo suficientemente rígida como para sostener y permitir la adherencia con la siguiente capa de material. Por su parte, Peled, *et al.*, (en Perrot, Sonebi y Anziane, 2019, p. 220), observaron que el proceso de extrusión de estos materiales puede mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla, esto es atribuible en parte a la compresión inherente del proceso, la cual reduce la porosidad tanto en la superficie como en la interfase matriz-refuerzo.

Respecto a las propiedades mecánicas, es pertinente mencionar que, a diferencia de los colados convencionales, los materiales cementantes que, por ser extruidos, también muestran direccionalidad en la respuesta mecánica de la impresión. Asimismo, por tratarse de una deposición de capas, las propiedades mecánicas mostrarán una respuesta anisotrópica, es decir, habrá diferencias entre las respuestas mecánicas en función del eje en el cual se ejerza el esfuerzo (Perrot, Sonebi y Anziane, 2019). Otro aspecto relacionado con esto último, es la adhesión entre una capa y otra dado que los mecanismos que gobiernan el fallo en este tipo de estructuras, operan de manera semejante a las líneas de soldadura de los filamentos de plástico utilizados en la impresión por FDM. Esto es, si el fraguado es demasiado rápido, es probable que haya diferencias en las contracciones del material, lo cual podrá afectar la integridad de la estructura final.

Ma, Wang y Ju (2017) estudiaron las de algunos de los materiales más utilizados en estos sistemas. Por la naturaleza propia de los requerimientos mecánicos de estos materiales, se consideró la resistencia a compresión, pero en algunos casos, además se documentó la resistencia a flexión y en algunos otros la rigidez. Las variaciones en estas propiedades según la mezcla y su composición,

se presentan en la tabla 1, referidas por autor del estudio, en la que también se incluyen de manera genérica las propiedades del cemento Portland a efecto de establecer un parámetro de comparación con un material convencional. Cabe mencionar que entre las composiciones de las mezclas se encontraron elementos que van desde el ya mencionado cemento Portland o las arenas a base de óxido de magnesio, hasta elementos de reforzamiento como las fibras de poliacrilonitrilo (PAN) o microfibras de polipropileno (PP).

Tabla 1. Comparativa de propiedades de distintos materiales cementantes para impresión respecto a los tradicionales (elaboración a partir de Ma, Wang y Ju, 2017).

	-	Jakupovic (2016)	Feng, et al. (2015)	Gosselin, et al. (2016)	Nerella (2016)	Malaeb (2015)	Le (2016)
Material	Cemento Portland	Magnesia (Oxicloruro de magnesio)	Polvo cementante	Concreto	Mortero	Cemento, arena y agregados	Cemento CEM 1, ceniza, sílica
resistencia a compresión (MPa)	20-40	49	7.26-16.8	-	80.6-83.5	41.5-55.4	20-110
Resistencia a flexión (MPa)	3-5	9	-	11.7-16.9	5.9-5.8	-	12
Módulo de elasticidad (GPa)	14-41	25	-	-	-	-	-

En esta tabla se observa que algunas mezclas son poco apropiadas para usos estructurales, como es el caso de la elaborada por Feng y otros (2015). En los resultados presentados por Le (2016), es importante mencionar que el rango abarca varias mezclas.

Respecto al control de las contracciones de fraguado, se ha comentado que para estas mezclas se requiere de un elevado contenido de humedad. Para ello, Ma, Wang y Ju (2017) destacan, de entre varios estudios, que para lograr mejores resultados se requiere de hacer ajustes en las proporciones disminuyendo el agua respecto del cemento y aumentando las de arena respecto del cemento.

Es importante destacar que, a pesar del posible costo inicial de inversión en este tipo de tecnología o servicio, los mayores beneficios son, además de la rapidez en el proceso constructivo, la flexibilidad en el proceso de diseño y el impacto social. Esto último se verá reflejado en un menor desperdicio de mate-

ria prima que por su naturaleza es difícil de reciclar, y por otro lado en una reducción en el consumo de energía, ya que por tratarse de equipos que funcionan con energía eléctrica, es factible reducir el consumo energético en combustibles, así como de las emisiones a la atmósfera (Ma, Wang y Ju, 2017).

Algunas tendencias en el campo del cómputo y otras tecnologías

En el plano doméstico, y de manera más modesta, es factible replicar esta forma de trabajo, no solo en relación a los componentes de gran complejidad, sino para desarrollar elementos constructivos para vivienda dentro de esquemas sostenibles, ya que un factor importante que se deberá considerar es el abaratamiento gradual o inminente de los sistemas tecnológicos con potencial de emplearse en la construcción. Este aspecto se puede abordar desde los elementos involucrados: el *software* y la conectividad en relación al *hardware*.

Desde el *software*, y asociado a la conectividad, las tendencias apuntan a la coexistencia de varias modalidades, tanto desde la perspectiva del licenciamiento como en el modo de operarlo, ya que esto promueve el uso de sistemas que tienden a la esbeltez (Business Advantage Group, 2018). Esto resulta aparentemente contradictorio si se toma en cuenta que las nuevas versiones y actualizaciones de los programas de cómputo tradicionalmente demandan más recursos de los equipos en los que se instalan. No obstante, el cómputo en línea ha permitido experimentar con soluciones a medida (modularidad a través de pago por uso) pero sobre todo, sin descargarse el programa de manera directa en el equipo. Esto se debe a que algunas de estas plataformas han migrado a la red y para acceder a ellas solamente se requiere de abrir un navegador con la página del desarrollador mediante una cuenta de usuario. Este esquema ha permitido a los usuarios ampliar los medios de acceso ya que se puede trabajar desde una estación de trabajo de escritorio, una computadora portátil, una tablet, e incluso un dispositivo móvil. Ejemplos de estas aplicaciones son las versiones online de *AutoCAD*, *Fusion 360*, o las aplicaciones nativas en línea como lo son las plataformas de modelación digital *Vectary* y *OnShape*, orientados a modelos para manufactura industrial.

Si bien el cómputo móvil se considera una tendencia de nicho (Business

Advantage Group, 2018), ya que el uso de tabletas para este tipo de aplicaciones, ya sea instaladas localmente o en línea, no se ha extendido de la misma forma que otras prácticas de escritorio, como lo son la modelación digital, la elaboración de planos o la simulación para CAE, estas herramientas han cobrado gran relevancia, particularmente en relación al Building Information Modeling (BIM). De manera amplia, BIM es un conjunto de programas que permiten un proceso basado en modelos para diseñar y gestionar la construcción de edificaciones y proyectos de infraestructura. En este sentido, las herramientas BIM han migrado de la estación de trabajo hacia los dispositivos móviles, lo que permite el acceso a la información del proyecto prácticamente desde cualquier lugar.

Destacan algunos nombres ya reconocidos, así como nuevos participantes en este nicho: *Autodesk BIM 360*, *PROCORE*, *ArchiCAD*, *Tekla BIMsight*, *BIMobject*, *BIMx*, *AECOSim Building Designer*, *Trimble Connect*, *Hevacomp*, *VectorWorks for architects*, *PriMus IFC*, *Edificius*, *BricsCAD BIM*, *midas Gen*, *AllplanArchitecture*, *VisualARQ* o *Buildertrend*. De esta extensiva lista se debe tomar en cuenta que las fortalezas de algunas de estas herramientas radican en lo que se denomina cómputo en la nube (para trabajo colaborativo), mientras que otras son más eficientes en el modelado de entidades (parasólidos, NURBS, topológico, etc), el modelado y simulación de instalaciones, el costeo y cálculo estructural. En este sentido, es conveniente hacer un estudio longitudinal del comportamiento de este nicho a efecto de valorar los impactos de manera más clara, además de que los programas mencionados no son los únicos, sino que son los de mayor participación en este sector.

A pesar de que estas prácticas de cómputo móvil y en la nube se muestran como parte de los fenómenos de consumo, una de las desventajas que han impedido su crecimiento a mayor velocidad es atribuible a la gran dependencia hacia la conectividad. Este aspecto hace impredecible la estabilidad del sistema, además de que, al formar parte de la red, el proceso está sujeto a las incertidumbres de seguridad inherentes a la misma.

Amenazas y debilidades aparte, la oferta de programas y tecnologías que permiten el desarrollo de proyectos en el ámbito de la manufactura y la construcción es lo suficientemente amplia para incorporarse a la práctica profesional, lo cual puede contribuir significativamente en la reducción de costos y tiempos de ejecución de obra.

Por su parte, la Federación Europea de la Industria de la Construcción (European Construction Industry Federation, FIEC) en su sitio web incluye otros procesos y tecnologías adicionales a los ya presentados. Respecto a la producción industrial, además de lo ya expuesto sobre manufactura aditiva, menciona a la prefabricación asistida y a la automatización como puntales digitales. Adicionalmente aboga por actividades de ensamblaje y no de construcción tradicional y augura un cambio en la visión del tipo de trabajo, donde se hablará más de empleados técnicos en lugar de mano de obra. Asimismo, vaticina el incremento en el uso de auxiliares robóticos para actividades repetitivas o de alto riesgo. Una mención especial en este campo es el uso de drones para la elaboración de levantamientos topográficos, que además de hacerlos en tiempos comparativamente menores respecto a métodos convencionales, son de gran precisión y adicionalmente proporcionan los datos para fotogrametría y cartografía de gran calidad. Su impacto será sin duda hacia el ordenamiento territorial y la planeación urbana e infraestructura.

Finalmente, la FIEC promueve el control digital de sitios en construcción a través de equipos y máquinas que serán capaces de trabajar asociados a modelos BIM de baja complejidad. Al estar los equipos interconectados, FIEC visualiza una recolección de información precisa y en tiempo real, lo que redundará en una actividad de construcción más ágil y con menor incidencia de errores durante el proceso.

Conclusiones

Se ha observado que la evolución de las tecnologías aplicadas al diseño no solo parten del énfasis en el control de la geometría del entorno construido para posteriormente abandonar el esquema exclusivo de la representación sino también para llevar a cabo los análisis pertinentes para su construcción.

En el contexto actual, por un lado, se observa desde la geometría, que las tecnologías empleadas en el proceso facultan el empleo de la realidad aumentada y la simulación. Respecto al primer beneficio, la realidad aumentada presenta el potencial de ser utilizada para la inmersión del usuario en un lugar que aún no existe, mientras que en el último caso, ésta se enfoca a varios aspectos

comprendidos desde el cálculo estructural hasta los efectos bioclimáticos de la construcción. Otro aspecto que merece atención es, sin duda, la tecnología de manufactura aditiva con materiales cementantes, que con cierto grado de perfeccionamiento se podrá implementar en la construcción de vivienda más allá de casos puntuales. Esto será un paso gradual desde el laboratorio hasta su aplicación en la edificación para necesidades reales en el mediano plazo. De emplearse adecuadamente, dado su corto ciclo de ejecución y su relativamente bajo coste, estas tecnologías permitirán resolver el problema de vivienda en un amplio espectro de la sociedad, lo que será de gran beneficio para el país.

Respecto a las tecnologías en línea y cómputo en la nube, es necesario valorar el efecto de la dependencia de la conectividad para la disposición de la información de cada usuario, pero sobre todo, cómo se protege la propiedad intelectual de quienes utilizan estos recursos.

Referencias

- 3D Prinhuset A/S. (2016). *D-Shape Report*, informe técnico, Monolite UK (Dinitech spa).
- Business Advantage Group. (2018). *Worldwide CAD Trends 2017 Survey Results*. Business Advantage Group. <https://www.business-advantage.com/CAD-Trends-Results-2017.php>
- Kagermann, H., Anderl, R., Gausemeier, J., Schuh, G. y W. Wallster. (2016). *Industria 4.0 in a global context: strategies for cooperating with international partners*, Acatech STUDY
- Lasi, H., Fetke, P., Feld, T. y Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, (4), 239-242. doi: DOI 10.1007/s12599-014-0334-4
- Le, T., Austin, S., Lim, S., Buswell, R., Gibb, A. y Thorpe, T. (2012). Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*, 45(8), 1221-1232. doi: 10.1617/s11527-012-9828-z
- Ma, G., Wang, L., & Ju, Y. (2017). State-of-the-art of 3D printing technology of cementitious material-an emerging technique for construction. *Science China Technological Sciences*, 61(4), 475-495. doi: 10.1007/s11431-016-9077-7

- McKinsey and Company (2017). *Reinventing construction: a route to higher productivity*. McKinsey Global Institute.
- Nerella VNNM. (2016). CONPrint3D-3D printing technology for onsite construction. *Concr Australia*, 42: 36–39
- Oesterreich, T. y Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers In Industry*, 83, 121-139. doi: 10.1016/j.compind.2016.09.006
- Perrot, A. (2019). *3D printing of concrete: state of the art and challenges of the digital construction revolution*. Londres: John Wiley & Sons.
- Sauerbrei, C. (2018). *Architecture 4.0*. Consulta del 22 de octubre de 2018, World-Architects, <https://www.world-architects.com/it/architecture-news/in-sight/architecture-4-0>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R., Reichstein, C., Neumaier, P. y Jozinović, P. (2015). Accepted to 18th International Conference on Business Information Systems, LNBIP Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. 18th International Conference on Business Information Systems. Poznan: Springer, pp.16-27. Consulta del 28 de octubre de 2018, <https://www.springer.com/gp/book/9783319190266>
- Shelden, D. (2002). *Digital surface representation and the constructibility of gehry's architecture*. MIT.
- Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C. y Carlberg, M. (2016). *Industry 4.0*. European Parliament. <http://www.europarl.europa.eu/studies>
- Zhou, K., Liu, T. y Zhou, L. (2015). Industry 4.0:<http://www.europarl.europa.eu/studies> Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 2147- 2152.

Sitios de internet

- AMIE Demonstration Project. (2015). Recuperado de <https://web.ornl.gov/sci/eere/amie/>
- Finances Online*. (2020). Best 20 building information modeling (BIM) software retrieved. [https://financesonline.com/building-information-modeling/\(2020\)](https://financesonline.com/building-information-modeling/(2020))

Contactos de los autores

- JAIME FRANCISCO GÓMEZ GÓMEZ
Departamento de Producción y Desarrollo, Universidad de Guadalajara
jaime.gomez@academicos.udg.mx
- FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ MADARIAGA
Departamento de Proyectos de Diseño, Universidad de Guadalajara
francisco.gmadariaga@academicos.udg.mx
- ENRIQUE HERRERA LUGO
Departamento de Producción y Desarrollo, Universidad de Guadalajara
enrique.herrera@academicos.udg.mx

La modelación de sistemas dinámicos para el monitoreo y gestión de recursos en edificios: propuesta de modelo sustentable de vivienda de interés social en el Área Metropolitana de Guadalajara

Alejandra Villagrana Gutiérrez

Introducción

El modelo de consumo y el uso desmedido de recursos de los centros urbanos ha causado la alteración de los ciclos naturales (Pauleit & Friedrich, 2000). Como una consecuencia de la creciente demanda de vivienda, la continua expansión urbana ha provocado un modelo irracional de ciudades en el país. La Comisión Nacional de Población (Conapo) estima que en 2050 México tendrá 150.8 millones de habitantes, lo que representará una enorme presión sobre los recursos hídricos.

Se prevé que entre 2014 y 2018 en México se demandarán 2.88 millones de viviendas debido al crecimiento demográfico, y durante los próximos años se deberá atender una demanda anual de alrededor de 400 mil viviendas nuevas. Estas viviendas demandan grandes volúmenes de agua, lo que representa un enorme reto para la gestión de recursos hídricos de las ciudades mexicanas; el desafío desde la perspectiva urbana será el poder brindar alternativas tecnológicas eficientes para su abastecimiento.

En los últimos años en el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), como en la mayoría de las urbes mexicanas, se ha presentado un incremento poblacional considerable, lo que genera también un aumento en la demanda de vivienda y, por lo tanto, de recursos. Según los informes de actividades del Sistema Intermunicipal de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) (2015), en el AMG, con una población de 4'013,923 habitantes, el consumo de agua per

cápita en el 2014 fue de 202.99 litros por día, cifra que comparada con los estándares internacionales de eficiencia queda muy por encima del consumo urbano de agua optimizado promedio de 134.67 litros por habitante por día (Rueda, 2006). En ese mismo año se contabilizó un consumo de 297' 403,065.81 metros cúbicos por año (Instituto Jalisciencie de la Vivienda, 2016).

La situación se agrava si se considera que en las subcuencas en las que se ubica el AMG ya no hay disponibilidad de agua subterránea ni superficial, por lo que se deben buscar fuentes alternas, además de realizar un esfuerzo por disminuir el consumo per cápita. En el AMG el porcentaje de agua residual tratada con respecto al agua residual captada en el 2013 fue de 14.92 por ciento, un porcentaje muy bajo, lo cual es motivo de preocupación por ser la zona metropolitana de mayor población en el Estado (Instituto Jalisciencie de la Vivienda, 2016).

Mediante el diseño apropiado de viviendas se podrían promover diversas estrategias para la minimización y monitoreo del consumo, así como para la reducción de la contaminación de los recursos hídricos, aunado a la aplicación de tecnologías sustentables. Con ello se promovería la implementación de una infraestructura mucho más tecnológica y sustentable dentro de la ciudad. Se debe enfatizar la importancia que toma la vivienda en la gestión sustentable de recursos naturales, entre ellos el agua, dentro de la planeación de las ciudades.

Metodología

El modelo que aquí se propone fue elaborado mediante el software *STELLA*, un programa especializado en sistemas dinámicos, y se construyó a partir del estudio de los marcos teóricos de los conceptos de Redes de la ciudad, El ciclo urbano del agua y Sistemas complejos. A partir de este análisis se pudo generar una relación conceptual para definir las categorías clave a abordar y establecer las variables que permitieran hacer operativo el modelo a través de sus indicadores.

En esta etapa operativa de la investigación fue necesario hacer un diagnóstico del sistema a estudiar que permitiera la construcción y una conceptualización del mismo. Los estudios de diagnóstico permiten la identificación de procesos y mecanismos, concatenación de eventos que han sucedido de

un intervalo de tiempo. El diagnóstico del funcionamiento de una estructura requiere del concimiento de los procesos que condujeron a su estructuración (García, 2011).

En esta etapa fue necesaria la construcción de modelos que representaran la realidad a estudiar. Para esto se desarrolló una serie de modelos estructurados bajo la simbología de *Odum*,¹ en la que primeramente se representó el comportamiento de la vivienda en su estado actual, para posteriormente complejizarlo y representarlo de una manera más sustentable. Los primeros modelos presentados fueron graficados como diagramas de *Odum* y posteriormente modelados con el programa *STELLA*.

El modelo fue construido a partir de las siguientes de variables:

- Dotación: es la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda de la población en un día medio anual. Volumen asignado de agua en fuentes al día por habitante, considerando todos los usuarios. (Comisión Nacional del Agua, 2016, p. 7).
- Habitantes por vivienda: se considera al número de personas que habitan dentro de la vivienda a analizar y que generarán un consumo directo de recursos dentro del sistema.
- Fugas o pérdidas físicas (en la red de distribución): pérdida de agua a través de cualquiera de los elementos o uniones de un sistema de agua potable, toma domiciliaria o alcantarillado sanitario (Comisión Nacional del Agua, 2016, p. 7).
- Consumo de agua potable: volumen de agua utilizado para cubrir las necesidades de los usuarios. Hay diferentes tipos de consumos: doméstico, no doméstico (dividido en comercial e industrial) y público. Este se puede obtener directamente de las mediciones en la toma domiciliaria (Comisión Nacional del Agua, 2016, p. 7).

1 El lenguaje de *Odum* está inspirado en los diagramas de flujo de los programas de computación y sirve para diseñar modelos que representan los componentes y procesos de un ecosistema dado. Es una herramienta útil para interpretar lo que ocurre en un ambiente.

- Días de consumo: es el total de días que se considerarán para el análisis del sistema y que impactan dentro del consumo de recursos, y para este caso en total serán considerados los días de un año completo.
- Salida de aguas negras: es el volumen de agua residual desechada por el usuario después de su uso, así como el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado. La mayoría de los autores e investigadores están de acuerdo en que esta aportación es un porcentaje del valor de la dotación, ya que existe un volumen que no se tributa a la red de alcantarillado, como el utilizado para el consumo humano, riego de jardines, lavado de autos, entre otros. Aunque es viable considerar como aportación de aguas residuales entre el 70 y el 75 por ciento de la dotación de agua potable en litros por habitante por día, considerando que el volumen restante se consume antes de que llegue a las atarjeas (Comisión Nacional del Agua, 2016, pp. 33-34).
- Metros cuadrados de azotea: es la superficie que cubre a la vivienda, la cual podrá implementarse como área captadora de agua pluvial.
- Coeficiente del material de azotea: de acuerdo al material del que se constituye la azotea y a las características del mismo será la capacidad de captación pluvial que dicho material tendrá.
- Salida de aguas de escorrentía: esta variable constituye una de las salidas del sistema; es el agua pluvial que «corre» superficialmente por las vialidades o espacios abiertos y que no ha sido captada o aprovechada.
- Potencial de captación no captado: es la cantidad de agua de lluvia que cae directamente sobre superficies impermeables (como la azotea), y que no ha sido aprovechada para algún consumo, y por lo tanto sale del sistema, ya sea a través del sistema sanitario o corriendo superficialmente sobre las vialidades.
- Pluviometría: es la cantidad de lluvia que cae en un espacio delimitado y en cierta época del año.

Primeramente, se simuló la infraestructura hídrica de una vivienda de interés social convencional (sin ninguna incorporación de tecnologías sostenibles), y posteriormente se hizo la simulación de la misma infraestructura pero bajo una perspectiva sustentable (incorporando para este caso tecnologías de

aprovechamiento de agua de lluvia para el ingreso de una fuente secundaria de recursos al sistema). La infraestructura modelada parte de una tipología de vivienda de interés social; esta tipología es la que predomina en los nuevos desarrollos habitacionales de la periferia del AMG, la cual tiene problemas en relación al uso y gestión del agua debido a la falta de planeación; regularmente se ubica en predios de aproximadamente 90 metros cuadrados (en muchos casos, en un menor espacio). En la figura 1 se muestra el diagrama del modelo inicial con la incorporación de las variables antes mencionadas.

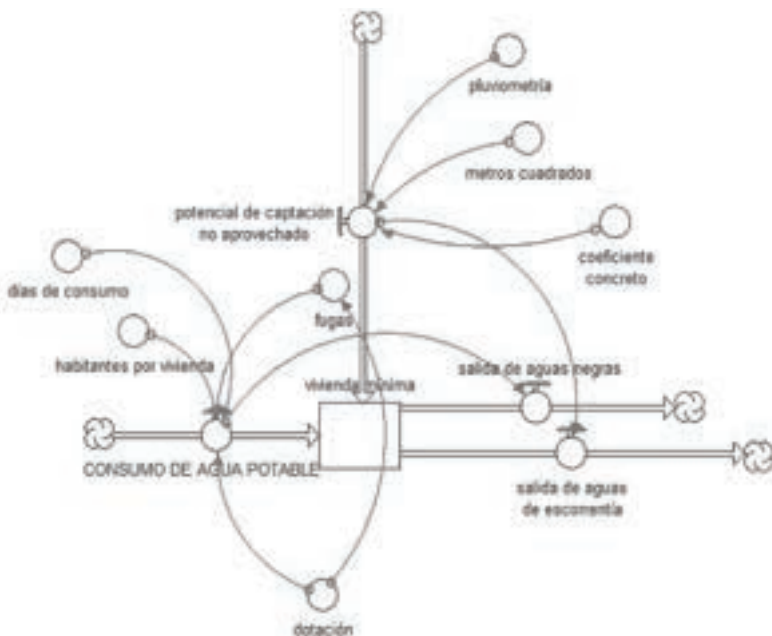


Figura 1. Modelo convencional. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

En el «modelo convencional» expuesto en la figura 1 se observa que hay dos ingresos de recursos al sistema: uno de agua potable que proviene de la red municipal y otro de agua de lluvia. El primer ingreso es el suministrado por el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) por habitante

por día, que para el 2014, según el mismo SIAPA (2015), tenía un volumen de 202.99 litros por habitante por día, cantidad en la que además se considera un 23.12 por ciento debido a la pérdida por fugas en la red de distribución (Gleason A., 2012). El segundo ingreso depende de la pluviometría acumulativa de cada mes en el AMG.

Para poder definir el consumo por persona, se hizo una comparativa entre una media de habitantes por vivienda estipulada por el INEGI (2016), que es de 3.9 habitantes en promedio por vivienda, y los habitantes que considera el SIAPA (2016) como parte de sus criterios de diseño, que es de dos personas por recámara construida. Considerando que la mayoría de las viviendas de estas características tienen dos recámaras por unidad, se incorporaron cuatro habitantes por vivienda dentro de la modelación, teniendo un año como temporalidad de consumo.

Tomando en cuenta las variables de dotación, habitantes por vivienda, días de consumo y porcentaje de fugas en el sistema de abastecimiento, se calculó el volumen aproximado de agua potable que consume anualmente un prototipo de vivienda mínima dentro del AMG. Con este cálculo del consumo anual de agua potable también se puede saber qué volumen de aguas negras genera anualmente el sistema de vivienda.

Posterior a la modelación e introducción de variables y datos, se obtuvieron las gráficas y matrices que permitieron observar el comportamiento del sistema. Si se toma en cuenta el segundo ingreso de agua al sistema (el de agua de lluvia, que depende de la pluviometría o precipitación de la zona), a este variable se le asignaron ciertos valores que se incorporaron al sistema como una «función condicional», que es una función de programación que se incorporó para que la pluviometría tuviera un comportamiento lo más acertado mes a mes, durante un año (Villagrana, 2016).

A esta función se le asignaron los valores de la pluviometría mes a mes en todo el año dentro del AMG; la información se obtuvo de las bases de datos de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y el Servicio Meteorológico Nacional.

Es así que se pudo calcular el ingreso del agua pluvial que no se aprovecha y es desechada como agua de escorrentía o se incorpora al drenaje sanitario (como en la mayoría de los casos) o, en un escenario más favorecedor, se envía hacia un pozo de absorción.

Para generar el cálculo del potencial de captación fue necesario introducir, además de la pluviometría, la cantidad de metros cuadrados de azotea de la vivienda y el coeficiente del material del que está constituida. Para darle un valor al coeficiente del material de la azotea se consideró el valor máximo asignado al concreto (tomando en cuenta que en la mayoría de los casos el concreto es el material que más se utiliza para la composición de esta parte de la vivienda).

En la figura 2 se grafica la interacción de las variables de la pluviometría (línea 1), el potencial de captación no aprovechado (línea 2) y la salida de aguas de escorrentía (línea 3). Dentro de la gráfica se puede observar el comportamiento de la pluviometría mes a mes, y cómo aumenta en los meses del temporal de lluvias en el AMG (entre mayo y septiembre). El potencial de captación no aprovechado y la salida de aguas de escorrentía está relacionado directamente con esta variable, y en este caso representa la misma cantidad de agua, debido a que el agua de lluvia no se aprovecha o almacena al pasar por el sistema y sale completamente como agua de escorrentía.

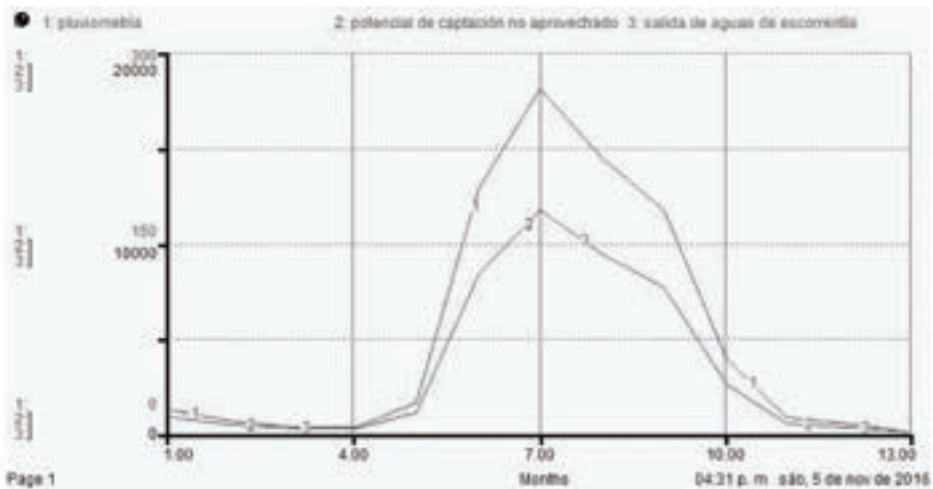


Figura 2. Pluviometría y potencial de captación no aprovechado. Fuente: elaboración propia.

Además de las gráficas obtenidas, el software permite realizar matrices de

datos para observar al detalle el comportamiento del sistema. En la segunda columna de la tabla 1 se observan los valores del potencial de captación de litros no aprovechados cada mes. Al revisar estos valores se deduce que en julio (que es el mes cuando la pluviometría obtiene el mayor valor, hasta 11,759.04 litros) se podrían captar volúmenes de agua de lluvia que no se aprovechan y salen como escorrentía o se incorporan al sistema sanitario (esta es el agua que ocasiona inundaciones y satura el sistema sanitario al no aprovecharse eficientemente).

Tabla 1. Datos del sistema convencional. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

Months	CONSUMO DE AGUA POT	potencial de captación no a	salida de aguas de escorre	salida de aguas negras	pluviometría	
1	18,727.05	751.68	751.68	14,045.28		17.40
2	37,454.09	345.60	345.60	28,090.57		8.00
3	56,181.14	159.84	159.84	42,135.85		3.70
4	74,908.18	172.80	172.80	56,181.14		4.00
5	93,635.23	989.28	989.28	70,226.42		22.90
6	112,362.27	8,363.52	8,363.52	84,271.70		193.60
7	131,089.32	11,759.04	11,759.04	98,316.99		272.20
8	149,816.36	9,344.16	9,344.16	112,362.27		216.30
9	168,543.41	7,603.20	7,603.20	126,407.56		178.00
10	187,270.45	2,475.36	2,475.36	140,452.84		57.30
11	205,997.50	475.20	475.20	154,498.12		11.00
12	224,724.55	259.20	259.20	168,543.41		6.00
Final						0.00

En la matriz de datos se observa que el consumo de agua en un mes es de 18,727.05 litros de agua potable; si ese consumo se compara con el potencial de captación no aprovechado (por ejemplo en el mes de julio, que es el mes con mayor potencial de captación no aprovechado), podrían obtenerse 11,759.04 litros de agua pluvial que suplirían aproximadamente el 62 por ciento del consumo de agua potable de la red de abastecimiento. Para ello, se debe calcular el volumen del depósito necesario para su almacenamiento y analizar si dentro del predio de la vivienda es posible tenerlo.

Posterior al modelado «convencional» se procedió con el modelado «alterno» o «sustentable», con el cual se busca que el ingreso de agua de lluvia sea aprovechado en algún tipo de consumo dentro de la vivienda. Para que esto suceda, se incorporaron nuevas variables al sistema con la intención de complejizarlo, tal como se ve en la figura 3.

Primeramente se dividió el consumo de agua de la vivienda bajo diferentes usos, con un porcentaje definido, para así sustituir algunos de esos usos de agua

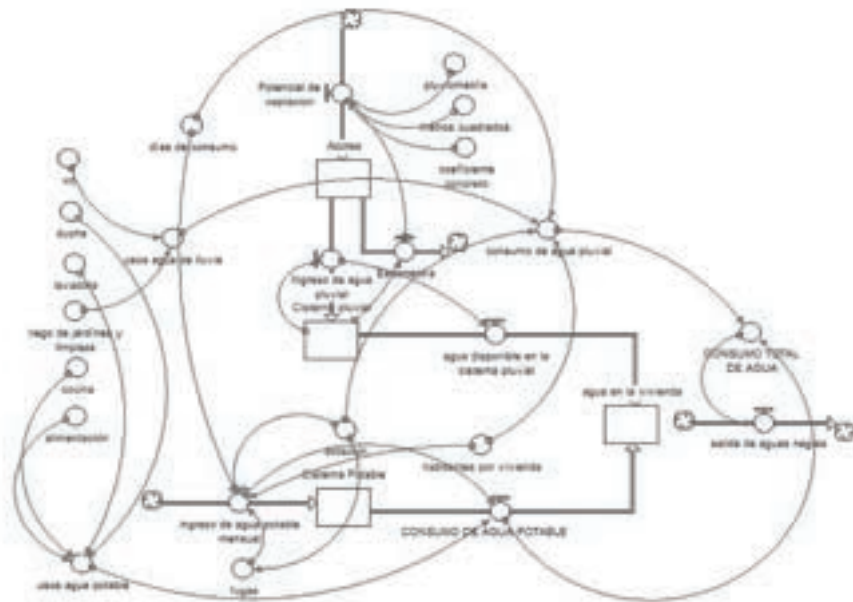


Figura 3. Modelo alternativo. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

potable con agua de lluvia. La dotación de agua se clasificó en diferentes usos y a cada uno de ellos se le asignó un porcentaje según su consumo, tal como se explica a continuación.

Se estima que una persona consume diariamente 36% del agua en el inodoro; 31% en higiene corporal; 14% en el lavado de ropa; 8% en el riego de jardines, lavado de autos, limpieza de vivienda y actividades de esparcimiento; 7% en el lavado de utensilios de cocina y vajilla y 4% en bebida y alimentación (Gleason, A., 2012, p. 327)

Los consumos de agua potable que pueden sustituidos por agua de lluvia son los del inodoro, la limpieza y el riego de jardines, que en conjunto constituyen el 44 por ciento del consumo de la vivienda. Los consumos de regadera, lavamanos, fregadero, lavadora y alimentación no deben ser sustituidos por agua de lluvia si no se cuenta con un sistema de filtrado especializado. Estos consumos de agua potable representan el 56 por ciento del consumo total de agua de la vivienda.

Estos porcentajes serían óptimos si la pluviometría de la zona y la capacidad de captación del emplazamiento fuesen buenas. Para este segundo modelado se tomaron tal cual estos porcentajes, con la intención de revisar si ese modelo podría tener una óptima eficiencia con los valores recomendables.

En comparación con el modelo anterior, que consumió 18,727.05 litros de agua potable, este modelo muestra una reducción en el consumo mensual de 8,239.90 litros, lo que representa una disminución considerable de consumo de agua de la red, que, como se mencionó antes, sería óptimo para el consumo de agua pluvial en la vivienda.

Después de la división de porcentajes de consumo dentro del sistema, se consideró que la infraestructura hídrica tendría que ser modelada en dos flujos independientes: un sistema de tuberías de agua potable y otro de agua pluvial. Además, se deben incorporar en su estructura dos cisternas independientes: una que permita el almacenaje del agua de la red municipal, y otra que almacene el agua de lluvia.

Para acotar la capacidad de las cisternas se tomó como referencia el de un dispositivo prefabricado, de marca comercial, con capacidad de 2,800 litros² (tomando en cuenta que la cisterna forma parte de uno de los paquetes tecnológicos centrados en el agua, disponibles en el ámbito local y nacional). Para mediar el ingreso de agua de lluvia a la cisterna pluvial del sistema se incorporó la siguiente fórmula para su programación, de acuerdo con la información que se muestra en la figura 4 (Villagrana, 2016).

Al incorporar al modelado el doble ingreso de recursos, se consideró nuevamente la integración de las variables del potencial de captación (superficie de captación en metros cuadrados, coeficiente del material y pluviometría) para hacer un estimado de la cantidad de agua pluvial que se podría captar mes a mes, a lo largo de un año, según la capacidad de la cisterna. En la figura 5 se pueden ver los comportamientos de las tres variables del sistema: el potencial de captación (línea 1), la pluviometría (línea 2) y el ingreso de agua pluvial (línea 3).

-
- 2 Cisterna con capacidad intermedia que puede adaptarse a las características espaciales de la vivienda.

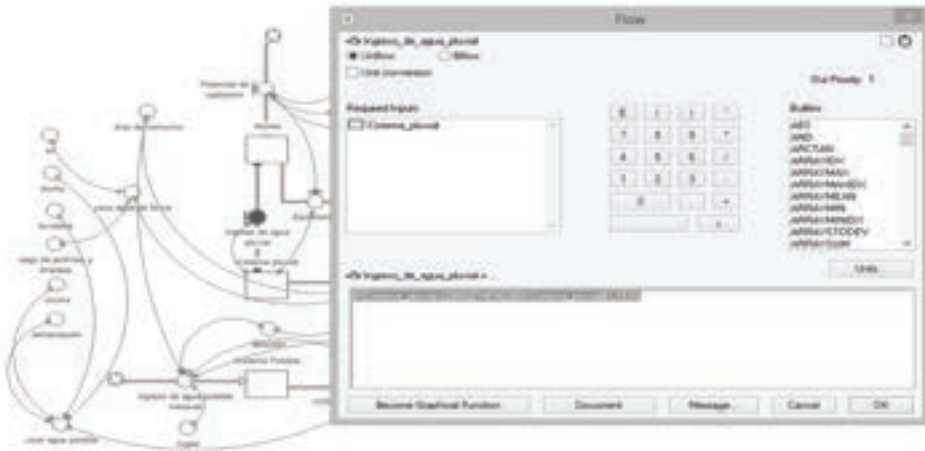


Figura 4. Fórmula de programación para el ingreso de agua pluvial a la cisterna. Fuente: elaboración de Mario A. Villagrana Gutiérrez.

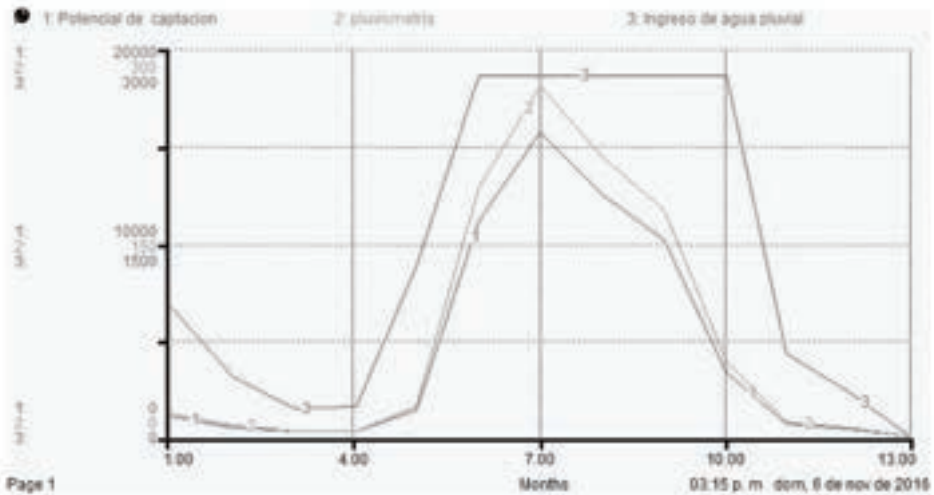


Figura 5. Ingreso de agua pluvial, potencial de captación y pluviometría. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

Se puede observar que el potencial de captación, como en el modelo convencional, depende de la pluviometría, y que el ingreso de agua pluvial se incrementa a partir de abril y se mantiene constante, aproximadamente, en los meses de junio a octubre, lo que permite el llenado total de la cisterna, y poco a poco, después de ese periodo, desciende la cantidad de agua en la misma. En la tabla 2 se muestra con mayor detalle el comportamiento del sistema.

Tabla 2. Valores de ingreso de agua pluvial, potencial de captación y pluviometría..
Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

Months	Ingreso de agua pluvial	Potencial de captación	pluviometría
1	1,002.24	1,002.24	17.40
2	480.80	480.80	8.00
3	213.12	213.12	3.70
4	230.40	230.40	4.00
5	1,319.04	1,319.04	22.90
6	2,800.00	11,151.38	193.80
7	2,800.00	15,678.72	272.20
8	2,800.00	12,458.88	216.30
9	2,800.00	10,137.80	176.00
10	2,800.00	3,300.48	57.30
11	633.60	633.60	11.00
12	345.60	345.60	6.00
Final			0.00

En los resultados obtenidos se observa que el volumen de agua pluvial anteriormente calculado que permanecerá en la cisterna no es suficiente para cubrir el consumo previsto. Por lo que, en este caso, se sugiere disminuir el consumo destinado al agua de lluvia, o solo usar el agua de esta cisterna cuando falte el de la red. Se debe aclarar que el sistema genera un cálculo aproximado y que los resultados pueden variar según el comportamiento de la pluviometría, la cual es impredecible.

En el sistema también se calculó el volumen de la escorrentía (el agua de lluvia que no entra al sistema y corre superficialmente por vialidades o espacios abiertos), y se incorporó la fórmula de programación que se ve en la figura 6 (Villagrana, 2016).

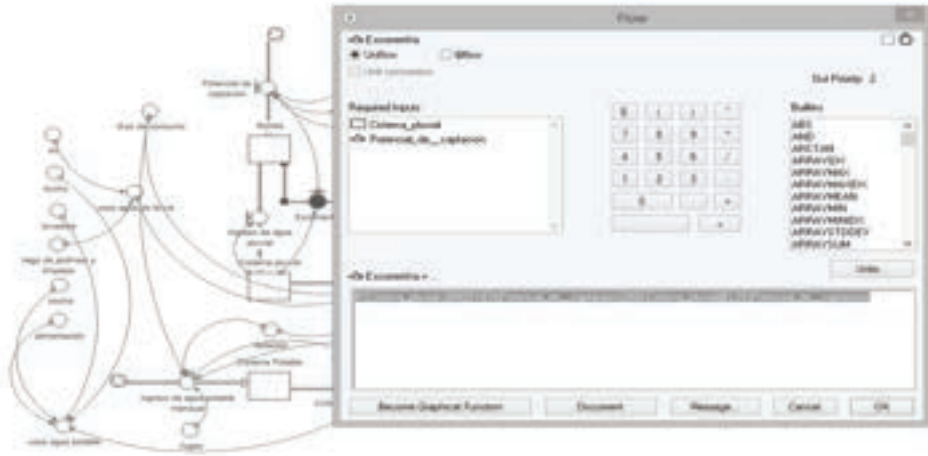


Figura 6. Fórmula de programación de la escorrentía. Fuente: elaboración de Mario A. Villagrana Gutiérrez.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de la escorrentía del sistema, que evidencia su relación directa con las variables de pluviometría y el potencial de captación.

En la tabla 3 se observa que en el periodo de enero a mayo no hay salida de aguas de escorrentía, debido a que el agua que ingresa al sistema en esos meses se consume inmediatamente, siendo el periodo de junio a octubre en el que comienzan a generarse salidas de agua pluvial posteriores al llenado de la cisterna. En comparativa con el potencial de captación y la escorrentía de junio a septiembre, se puede ver que en el sistema de vivienda sí disminuyen, aunque sea en una escala menor, las salidas de agua de lluvia que esta unidad aporta al sistema urbano.

Para concluir con el análisis referente al comportamiento del modelo, se deduce que los sistemas de captación de agua pluvial podrían tener éxito si trabajaran de forma conjunta con otros sistemas en distintas escalas urbanas. Además de la captación pluvial, valdría la pena analizar la implementación de otros sistemas complementarios como filtros, dispositivos ahorradores y de tratamiento de aguas residuales, además de reforzar la concientización del ahorro a través de mejores prácticas de consumo dentro del hogar (cultura del agua).

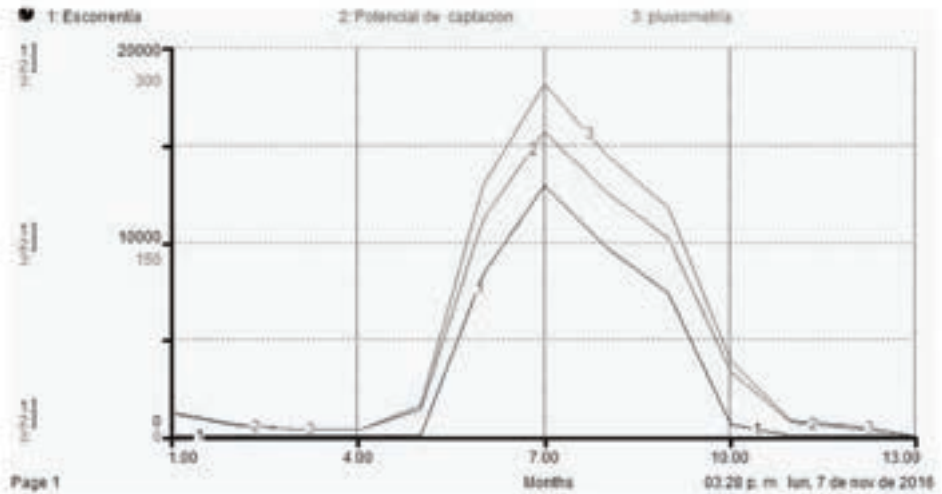


Figura 7. Escorrentía, potencial de captación y pluviometría. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

Tabla 3. Valores de ingreso de agua pluvial, escorrentía y potencial de captación. Fuente: elaboración propia mediante el software STELLA.

Months	Ingreso de agua pluvial	Escorrentía	Potencial de captación
1	1,002.24	0.00	1,002.24
2	460.80	0.00	460.80
3	213.12	0.00	213.12
4	230.40	0.00	230.40
5	1,319.04	0.00	1,319.04
6	2,800.00	8,351.36	11,151.36
7	2,800.00	12,878.72	15,678.72
8	2,800.00	9,658.88	12,458.88
9	2,800.00	7,337.60	10,137.60
10	2,800.00	500.48	3,300.48
11	633.60	0.00	633.60
12	345.60	0.00	345.60
Final			

En la medida en que se integren otras tecnologías sustentables en relación al consumo del agua, se conseguirá un modelo de vivienda más eficiente.

Se debe mencionar que el presente modelo aún se encuentra en etapa experimental y que en este trabajo solo se han expuesto los primeros resultados obtenidos después de una primera etapa de exploración. Se considera que este tipo de modelaciones a partir de sistemas dinámicos podrían integrarse a las dinámicas de la Construcción 4.0 en relación a la planeación de vivienda para proponer escenarios urbanos de consumo y gestión sustentable de recursos.

Bibliografía

- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. En http://www.mapasconagua.net/previ_max.aspx?nm=SGAPDS-1-15-Libro4.pdf&pg=
- Becerril, L. (s.f.). *Datos prácticos de instalaciones hidráulicas y sanitarias*. México, DF.
- Gleason, A. (2012). Hacia una gestión sustentable del agua en la Zona Metropolitana de Guadalajara. *Gobernanza y gestión del agua en el occidente de México: la metrópoli de Guadalajara*, pp. 217-243. Guadalajara: Instituto Tecnológico y de Estudios de Occidente.
- (2005). *Manual de aprovechamiento de aguas pluviales en centros urbanos*. Guadalajara: CUAAD, Universidad de Guadalajara.
- García, R. (2011). *Interdisciplinariedad y sistemas complejos*. En http://contenidosabiertos.academica.mx/jspui/bitstream/987654321/504/1/interdisciplinariedad_y_sistemas_complejos.pdf
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2012). *Reglamento Estatal de Zonificación*. Guadalajara: CUAAD, Universidad de Guadalajara.
- Instituto Jalisciense de la Vivienda . (2016). Programa de vivienda del Estado de Jalisco. Guadalajara.
- Intituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016, 4 de noviembre). Características de la vivienda. En *Promedio de habitantes por vivienda de 1950 a 2010*, http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/graficas_temas/epo-bl13.htm?s=est&c=22237

- Pauleit, S., & Friedrich., D. (2000, 19 de julio). Assessing the environmental performance of land cover types for urban planning. Munich: Technische Universität München.
- Rueda, S. (2006, enero). *Indicadores relacionados con el metabolismo urbano*. Recuperado el 20 de septiembre de 2015, http://www.sevilla.org/urbanismo/plan_indicadores/4-Metabolismo%20urbano.pdf
- SIAPA. (2015). *Los informes trimestrales y anuales de actividades del sujeto obligado*. Recuperado el 18 de septiembre de 2015, <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/los-informes-trimestrales-y-anuales-de-actividades-del-sujeto-obligado>
- (2016, 4 de noviembre). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades*. En http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_1._criterios_basicos_de_diseno.pdf
- Universidad Veracruzana. (2016, 4 de noviembre). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. En <http://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Villagrana, M. (2016, julio). Programación de función condicional. Guadalajara.

Contacto de la autora

- Alejandra Villagrana Gutiérrez
Departamento de Proyectos Urbanísticos
del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño
de la Universidad de Guadalajara
alejandra.villagrana@academicos.udg.mx

Monitoreo de la eficiencia energética en edificios administrativos para la educación superior

Silvia Arias Orozco

Introducción

El presente trabajo analiza las condiciones de uso y consumo de energía en las instalaciones administrativas y educativas, tomando como ejemplo el diagnóstico hecho para el Edificio Cultural y Administrativo de la Universidad de Guadalajara, con el objetivo de propiciar las condiciones ambientales necesarias en los espacios arquitectónicos, así como mejorar las condiciones de trabajo de los usuarios y, como consecuencia, su rendimiento laboral dentro de los mismos. Se usó el software *The Urban Modeling Interface (UMI)*, un programa basado en la plataforma de *Rhinoceros* para el diseño de modelado arquitectónico y urbano, que permite estimar la energía operativa, calcular las emisiones de gases efecto invernadero y evaluar la iluminación natural y la caminabilidad (la facilidad de caminar) de la edificación analizada (Reinhart, 2013).

Alcance de la investigación

El punto de partida de este proyecto de investigación (financiado por el Conacyt) es el análisis de las condiciones de uso y consumo de energía en las instalaciones administrativas y educativas, tomando como ejemplo el diagnóstico en los espacios físicos del Edificio Cultural y Administrativo (ECA) de la Universidad de Guadalajara, con la finalidad de proponer soluciones adecuadas a cada caso, con el fin de lograr un ahorro energético integral.



Figura 1. Edificio Cultural y Administrativo de la Universidad de Guadalajara. Fuente: fotografía de la autora.

Con el análisis previo de los consumos correspondientes a las luminarias, equipos instalados a contactos y aparatos de aire acondicionado, se obtiene la distribución de la carga instalada en el ECA; con la muestra de la distribución del consumo de energía se elaboran los indicadores que llevan a proponer medidas y soluciones para el ahorro de energía eléctrica. Otros indicadores se obtuvieron mediante la correlación entre la distribución de la carga instalada en referencia a la tipología de las luminarias, que muestran que existen variaciones entre la capacidad de instalación y los consumos reales.

En resumen, se puede decir que el consumo correspondiente al aire acondicionado representa una tercera parte del total; al replantear el diseño del edificio mediante el uso de ventilación natural se reduciría en gran medida la utilización del aire acondicionado. A lo anterior se sumarían otras medidas como la instalación y sustitución de equipos de alumbrado de bajo consumo y

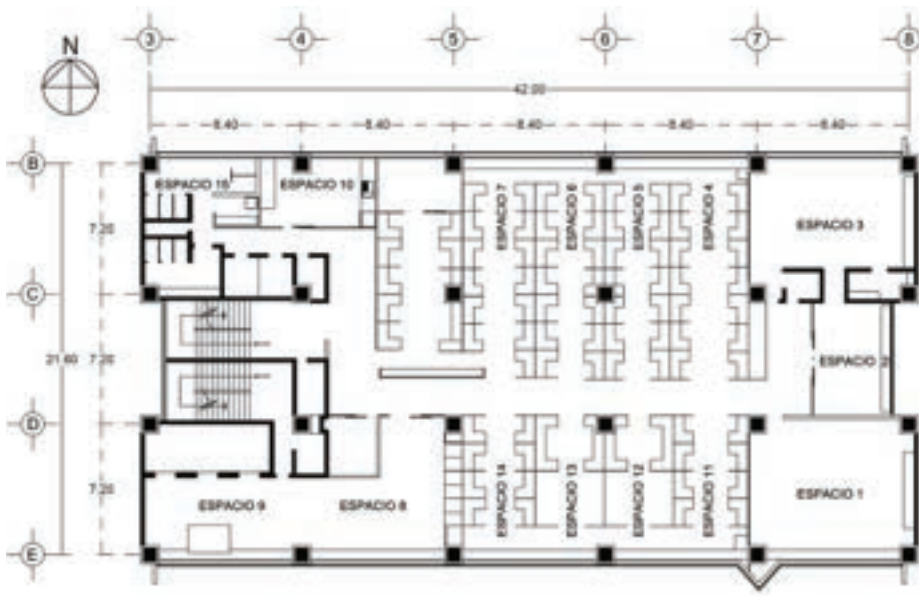


Figura 2. Planta arquitectónica del Edificio Cultural y Administrativo. Fuente: elaboración propia con base en los archivos oficiales.

Tabla 1. Consumos y carga instalada de energía eléctrica.

Concepto	Consumo (kWh/mes)	Carga (kW)
Alumbrado	50,562.76	332.50
Aire acondicionado	56,511.32	319.20
Contactos	37,178.50	492.10
Fuerza	4,461.42	186.20
TOTAL	148,714.00	1330.00

la consideración, en algunos casos, de aprovechar la iluminación natural disponible durante una gran parte del año, lo cual representaría un ahorro sustancial en el consumo energético.

Tomando en cuenta los datos anteriores, el análisis se basa principalmente en la consideración, mediante simulaciones y modelados virtuales, de la energía

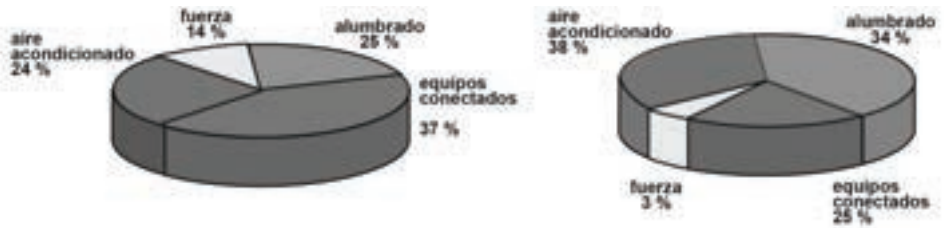


Figura 3. Distribución en la carga instalada y del consumo de energía en el ECA. Fuente: elaboración propia.

empleada en la climatización, la iluminación artificial y los equipos conectados. Con base en los resultados obtenidos a través de las distintas etapas de la investigación es posible realizar una auditoría energética, con el fin de proponer las recomendaciones de adecuación ambiental de los espacios arquitectónicos de la institución que propicien el ahorro energético y la optimización de los recursos institucionales, así como la mejora de las condiciones laborales de los usuarios.

Este tipo de análisis es utilizado por muchas firmas de arquitectura, como Foster and Partners, EMTB y Zaha Hadid, entre otros, para mejorar el funcionamiento de sus edificios. Los sectores industriales que utilizan este tipo de programas son el de la arquitectura, el urbanismo, el diseño de interiores y la ingeniería (Besserud, 2011). Los programas que se utilizan son *Ecotect*, *DesignBuilder*, *DIALUX* y *EnergyPlus*; cada una de estas herramientas tiene utilidades diferentes que pueden potenciar la presentación de un proyecto ante un cliente, o la postura del mismo en un concurso.

Existe una amplia oportunidad de reducir las emisiones globales de carbono al desarrollar núcleos urbanos que hagan usos más eficientes de los recursos necesarios para su funcionamiento. En la actualidad, se llevan a cabo importantes esfuerzos en el desarrollo de herramientas de diseño informático que permiten que los edificios sean más eficientes y de bajo consumo energético. Si bien estas herramientas se utilizan cada vez más en la práctica, actualmente no permiten modelar grupos de docenas o cientos de edificios eficientes, por lo que un número creciente de equipos de investigación están trabajando en este tipo de herramientas de modelado. Muchos de estos equipos se concentran en

aspectos aislados de rendimiento, como el uso de energía de un edificio en funcionamiento o de los transportes; sin embargo, se han logrado avances limitados en la integración de múltiples aspectos de rendimiento en una sola herramienta o en incidir en la enseñanza del diseño urbano y la práctica profesional. Para este trabajo se utilizó la herramienta *UMI*, un programa basado en la plataforma de *Rhinoceros* para el diseño de modelado arquitectónico y urbano, que permite estimar la energía operativa, medir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como evaluar la iluminación natural y la caminabilidad de la edificación analizada (Reinhart, 2013).

Metodología utilizada

El presente apartado muestra una serie de simulaciones y modelados virtuales hechos mediante la herramienta *UMI*, y se analizan diversas cualidades y características dependientes de la propia morfología y disposición de los modelos tridimensionales de un proyecto, o, como en el presente caso, de uno ya edificado.

Esto como parte de un diagnóstico que complementa el presente estudio, en donde se ejecutan, a partir de los *inputs* que busca analizar dicha herramienta, como lo son: cuestiones referentes a la ocupación de suelo; consumo energético operacional; ciclo de vida del edificio en consumo de combustibles y producciones de gases de efecto invernadero; caminabilidad, como también diagnósticos sobre asoleamiento urbano.

Cabe mencionar que dicha herramienta fue desarrollada por el Sustainable Design Lab en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, y sigue estando en desarrollo. El presente análisis se hace a partir de la versión *UMI 2.0*, que hasta el momento es la versión más reciente.

Además, en una segunda fase, se propone el monitoreo automatizado a través de la implementación de indicadores energéticos en el edificio analizado:

1. Identificación de indicadores energéticos.
2. Características del edificio seleccionado.
3. Resultados de la implementación de los indicadores para la gestión energética.

Resultados

Energía operacional (operational energy)

En este apartado, mediante el programa *UMI* se analiza la energía operacional requerida para el funcionamiento del edificio, y se hace a partir de un uso que se le asigna, como también el tipo de material del cual está construido, en este caso el edificio de referencia, como también de las alturas de los niveles de entresuelo en donde éste realizará una subdivisión automática a partir de la altura de la geometría modelada y el valor que se introduzca.

En la figura 4 se muestran los resultados obtenidos. La imagen de la parte superior arroja los kWh necesarios para el funcionamiento del edificio, esto como un dato aproximado con base en la información que hasta el momento medianamente se puede configurar. En la imagen inferior, se cambia el tipo de resultado y el programa distribuye el consumo por metro cuadrado de superficie del edificio.

Ciclo de vida (life cycle)

En el apartado de ciclo de vida, el cual fue incorporado a partir de esta versión del programa, se computa una serie de datos, que de la misma manera que la energía operacional, trabaja a partir de los datos ingresados referentes a materiales, usos, y dimensiones, que hasta el momento son limitados a aquellos que vienen preestablecidos, y realiza dos tipos de cálculos.

El primero se refiere al ciclo de vida del edificio en relación al consumo de combustible que pasó a través de la vida del mismo, y lo llaman energía incorporada (*embodied energy*). Con los resultados que se obtienen (en este caso, además de un valor numérico), se realiza un mapeo a partir de un rango de color que ilustra el valor del consumo, pudiendo establecer un rango de evaluación primario con base en alto, medio y bajo (figura 5).

El segundo cálculo arroja un valor numérico de las emanaciones de gases de efecto invernadero que se desprenden del ciclo de vida del edificio. Se muestran de la misma manera. El valor que se obtiene esta expresado en $\text{kg CO}_2/\text{m}^2$, siendo este un equivalente a los índices de caminabilidad (*walkability*).

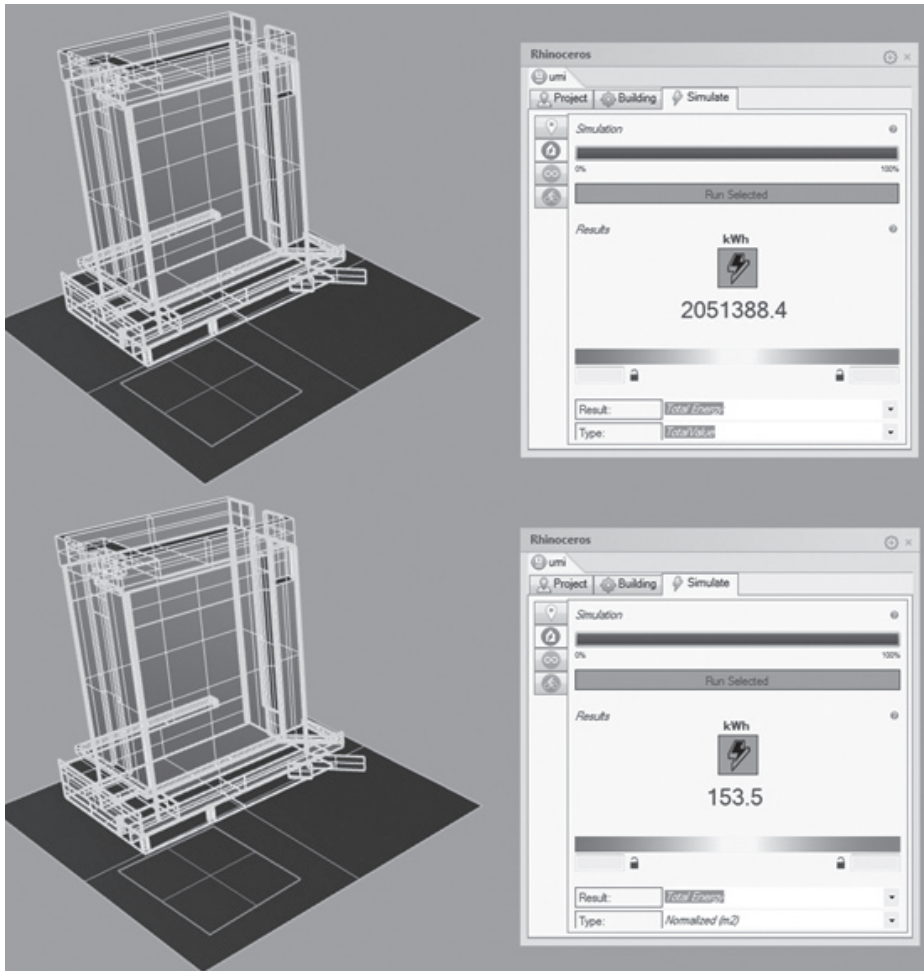


Figura 4. Energía operacional.

Caminabilidad (walkability)

La caminabilidad está más relacionada con un entorno urbano, ya que para su cálculo es necesaria una red de vialidades que intercomuniquen a cada uno de los elementos que representan a una edificación, y en donde a partir de las

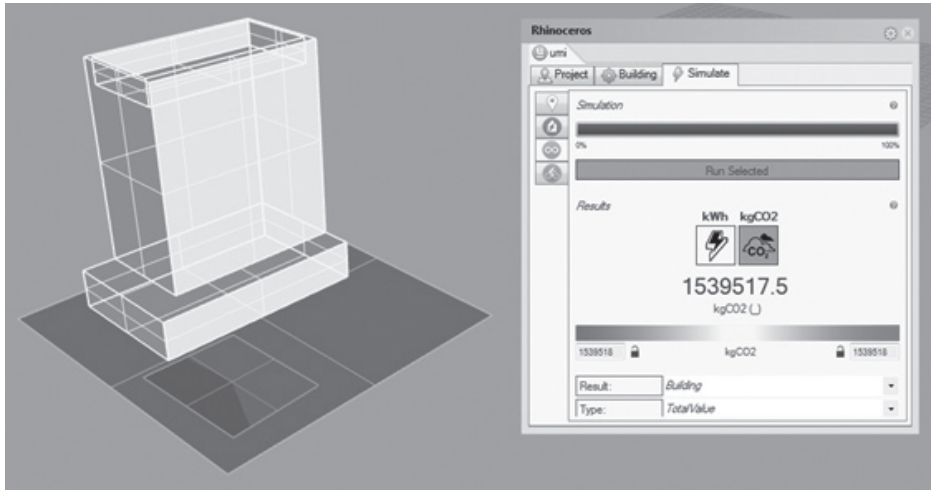


Figura 5. Emisión de carbón incorporado (*embodied carbon*).

distancias que dicha trama presente, en conjunto con una serie de «amenidades» (cualquier tipo de uso que ofrezca servicios, como son bancos, cafeterías, restaurantes, etc.) asignara un valor proporcional de cada una de las unidades en relación a su cualidad caminable dentro del complejo (figura 6).

Si bien el análisis se enfoca en una sola edificación y no en la relación con su contexto inmediato urbano y sus características, el modelado se hizo a partir de la manzana donde se encuentra, tomando como amenidades el jardín frontal y un posible servicio de ocio; es de esperar que la simulación arroje valores bajos.

Iluminación natural del entorno urbano (urban daylight)

Las modelaciones realizadas dentro del índice *urban daylight* están vinculadas en gran medida en la relación que presentan los objetos analizados con las condiciones climáticas y solares (en mayor medida, respecto a éste último), como también las interacciones que se tienen respecto a la disposición y orientación de los elementos. Este apartado está compuesto a su vez por tres categorías: autonomía continua de luz diurna, zona de luz y radiación de envoltente (*continuous daylight autonomy*, *daylight area* y *envelope radiation*) (figura 7).

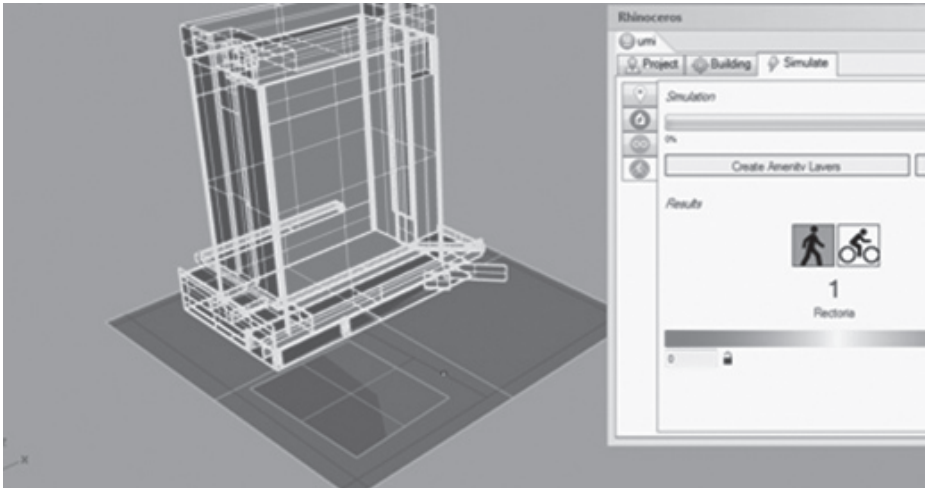


Figura 6. Caminabilidad (*walkability*).

Todos los apartados que se simulan en este grupo son dependientes de las características morfológicas que posee el edificio, como también de la situación geográfica y su ubicación en relación a las trayectorias solares, como se mostrará más adelante.

Autonomía de la iluminación natural continua (continuous daylight autonomy)

La autonomía de luz de día continua representa el porcentaje de área de suelo que excede los 300 lux por al menos durante 50 por ciento del tiempo.

Área efectiva de iluminación natural (daylight area)

El *daylight area* simula la iluminación a la cual está sometida la edificación y la suficiencia de la misma. En las imágenes se puede apreciar que todo el perímetro se encuentra iluminado de manera apropiada, pero mientras se acerca al núcleo del edificio, no existe una iluminación natural adecuada. Cabe men-

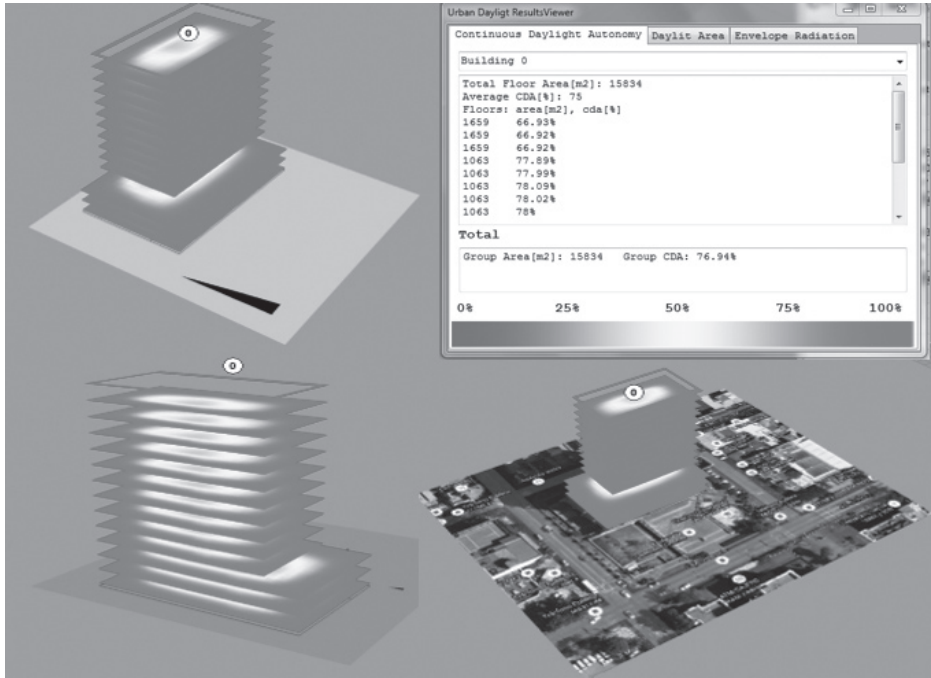


Figura 7. Iluminación natural del entorno urbano.

cionar que una de las aristas verticales del edificio, la suroeste, presenta una sobreexposición de iluminación (figura 8).

Radiación solar en la envolvente (envelope radiation)

En este apartado se analiza la radiación solar acumulada en las diferentes caras que componen el volumen. En la simulación se evidencia que es debido a la orientación de la cara sur del edificio, que tiene una mayor superficie de ventanerías, por lo que está totalmente expuesta a la incidencia solar, al igual que su cara norte que presenta las mismas características, si bien en este caso se observan unos rangos de colores más alejados de los rangos máximos (figura 9).

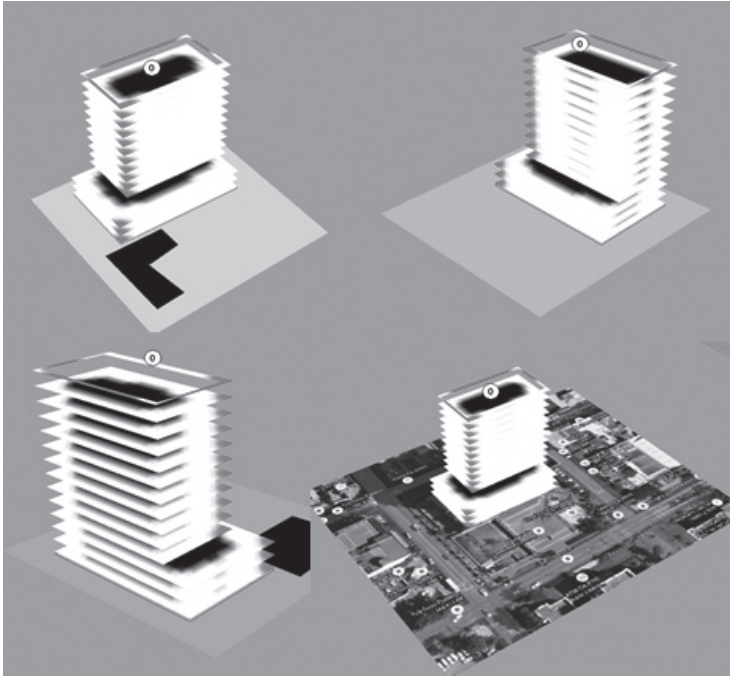


Figura 8. Área efectiva de iluminación natural.

Análisis costo-beneficio

En este análisis se utilizó *UMI* como herramienta en la plataforma de «Rhinceros», con el objetivo principal de introducir el desempeño ambiental de la evaluación para elaborar parámetros que puedan ser utilizados por los planificadores urbanos y los arquitectos. Ofrece un flujo de trabajo que es complementario con las prácticas actuales de planificación y –a través de su vínculo con el diseño paramétrico– ofrece oportunidades para nuevas investigaciones de diseño. Si bien este trabajo muestra los resultados *UMI* para la energía, las emisiones de CO₂, el confort urbano luz de día y la caminabilidad por separado, con el fin de explicar los supuestos que subyacen a estos módulos, el objetivo de la práctica y la educación es combinar estos resultados de un análisis más integral de los diferentes diseños arquitectónicos y/o urbanos.

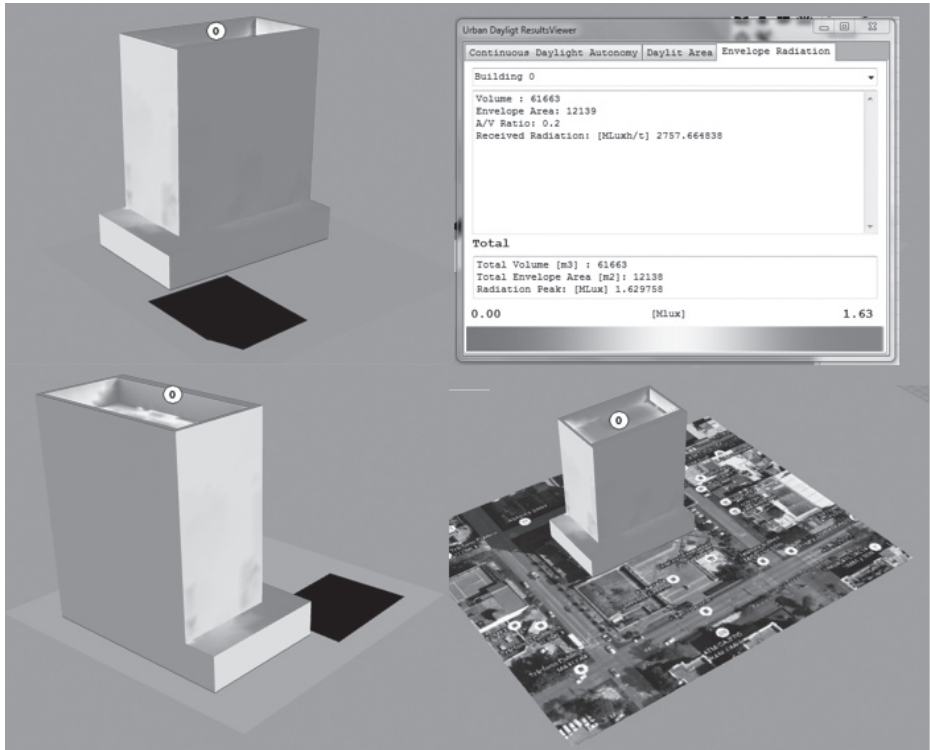


Figura 9. Radiación solar en la envolvente.

Asimismo, se plantea utilizar los resultados en la valoración del costo-beneficio de las tecnologías que apuntan hacia la optimización de la iluminación natural en las edificaciones, por lo que es necesario hacer consideraciones de carácter global debido a los problemas que representan las innumerables dificultades técnicas y operacionales que hacen posible el funcionamiento de la edificación analizada.

Para que lo anterior sea factible, es necesario que los beneficios se tomen en cuenta de acuerdo con dos categorías:

1. Para que los beneficios puedan ser transformados en dinero real, es necesaria la utilización de tecnologías y estrategias que aseguren el ahorro ener-

gético en la iluminación, así como en la energía usada en la climatización artificial.

2. Dichos beneficios no serán tomados en cuenta si estos están en contra del confort del usuario, así como de sus condiciones de trabajo u otros similares.

Cabe mencionar que este tipo de evaluaciones económicas generalmente tienden a limitar los beneficios reales del ahorro energético, como pueden ser los de tipo motivacional en relación a lo que sería la conciencia de la protección del medio ambiente (CIE Standard, 2003).

Para encontrar el método idóneo de evaluación del costo-beneficio de edificaciones que utilicen tecnología avanzada para la optimización de la iluminación natural, es necesario tomar en consideración las decisiones respecto del tipo de inversión que se llevó a cabo en la etapa de diseño y construcción.

Por ejemplo, es frecuente que muchos proyectos constructivos continuamente varíen las expectativas de crecimiento iniciales, lo cual también se traduce en el empleo de un mayor número de trabajadores, lo que incrementa a su vez la posibilidad de accidentes y errores de edificación. El crecimiento del proyecto también repercute en la complejidad de los planos constructivos y de las instalaciones, haciéndolos más propensos a múltiples revisiones debido al grado de complejidad que existe entre cada una de los elementos interactuantes.

Los costos se elevan, así como los impuestos que generan este tipo de incrementos de volumen de construcción y de los calendarios de obra.

En este caso se hace referencia al término de «inversión» como a la operación económica-financiera en que incurre la constructora para la expedición de capital en espera de obtener en un futuro ganancias. Esto al considerar la diferencia entre el valor original del edificio y el obtenido con la implementación de los sistemas de iluminación en años venideros.

Las características deseables para la inversión en el proyecto se resumen en los siguientes factores:

- La cantidad expedida inicialmente en el proyecto
- Los futuros ingresos generados por el ahorro energético
- La duración del proyecto en relación a la vida económica de los fondos.

Estimaciones de ahorro energético anual

Para realizar estimaciones de ahorro energético anual por concepto de iluminación artificial, es necesario conocer la relativa frecuencia de las condiciones de variación del cielo durante las horas operacionales del edificio. El método tradicional está basado en las proyecciones registradas en observatorios de la relativa frecuencia del cielo despejado y cubierto (nublado). Aunque como se ha visto con anterioridad, las estimaciones de la luz de día (FLD) disponibles consideran dos factores principales: la latitud del lugar (mediante la utilización de la tabla de FLD) y el supuesto cielo en condiciones cubiertas (Fontoynont, 1995).

Robbins y Hunter han desarrollado un método de estimación del ahorro energético anual atribuido al aprovechamiento de la iluminación natural, basado en la predicción del porcentaje anual en el que el sistema de iluminación eléctrica no es utilizado. Dicho porcentaje está en función de la estrategia de control de la iluminación eléctrica utilizada, el estándar de horario de trabajo, los datos locales de clima, así como del total de iluminación natural disponible (expresadas en FLD) medida en un punto específico del edificio. El método mencionado se explica a continuación.

El estándar laboral anual se define como 365 días por cualquiera de las doce jornadas de trabajo más usuales. En este estándar se incluyen combinaciones de los tres horarios de inicio laboral (7:00, 8:00 y 9:00 horas), así como los de finalización (16:00, 17:00, 18:00 y 19:00 horas) en ciudades norteamericanas.

El factor de luz diurna (el cual se ha utilizado anteriormente), que se define como la iluminación de luz natural medida en un punto situado en un plano determinado, debida a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación, y la cual es expresada en porcentaje:

$$\text{FLD (\%)} = \frac{E_{\text{int}}}{E_{\text{ext}}} \times 100\%$$

Donde:

FLD = Factor de luz diurna

E int = Iluminación interior

E ext = Iluminación exterior

El diseño de la iluminancia E_{dis} representa el valor de la iluminancia usada por el diseñador para establecer el sistema de iluminación adecuado para un espacio determinado, incluyendo los sistemas artificiales y naturales. La siguiente figura muestra gráficamente el periodo laboral de 8:00 a 18:00 horas ; los diferentes valores de E_{dis} pueden existir para diversos tipos de espacios (Moore, 1989) (figura 10).

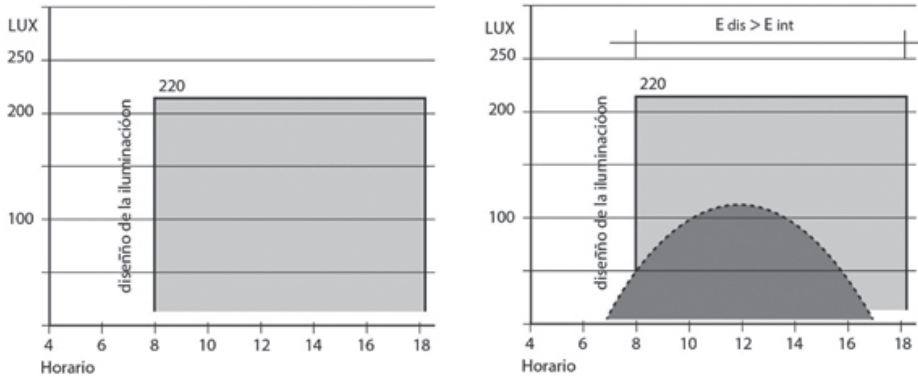


Figura 10. Diseño de la iluminación en un periodo laboral.

Despejando la ecuación anterior se puede determinar la iluminancia interior si se conoce el FLD, así como la iluminancia exterior:

$$E_{int} = E_{ext} \times \frac{FLD}{100}$$

Si la iluminación natural disponible en el exterior permite prescindir de las luminarias artificiales, es de considerar que la iluminación eléctrica suplementaria puede ser controlada mediante sistemas de encendido-apagado. Dichos sistemas pueden ser de dos pasos (encendido y apagado), tres pasos (encendido, medio encendido y apagado), cuatro pasos (encendido, un tercio encendido, dos tercios encendido y apagado) y cinco pasos (encendido, un cuarto encendido, medio encendido, tres cuartos encendido y apagado). La figura 11 muestra cómo responden estas estrategias de ahorro energético mediante el aprovechamiento de la iluminación natural en las horas más adecuadas (CIE Standard, 2003).

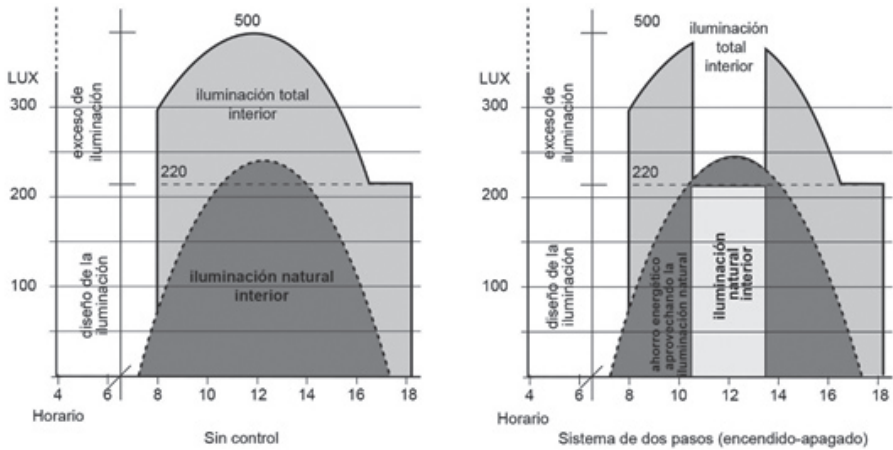


Figura 11. Diseño del ahorro energético del periodo de 8:00 a 18:00 horas.

El monitoreo automatizado

Otro de los campos dentro de la Construcción 4.0 es el monitoreo automatizado, para el cual es necesaria la implementación de una serie de sistemas electrónicos dentro de la edificación; además del establecimiento de las siguientes fases en la implementación del mismo:

1. Desarrollar de un sistema de gestión de eficiencia y ahorro energético para la edificación
 - a) Sistema de gestión de energía, generar las medidas de ahorro y eficiencia de iluminación, aire acondicionado, equipos mayores, agua, red eléctrica, motores, combustible, etc.
 - b) Políticas de ahorro y eficiencia energética (establecer etapas del monitoreo). Monitoreo: equipos mayores. Energía y potencial del interruptor. Facturación eléctrica, recorrido semanal, documentación y revisión
2. Implementar los indicadores energéticos en el edificio
 - a) Identificación de indicadores energéticos
 - b) Características del edificio seleccionado
 - c) Resultados de la implementación de los indicadores para gestión energética

Los indicadores más representativos son los siguientes:

Índice de consumo energético por piso, kWh/mes-m²

Índice de potencia instalada por piso, W/m²

Índice de consumo energético por aplicación, kWh/mes-m²

Índice de potencia instalada por aplicación, W/m²

3. El establecimiento y aplicación de los indicadores clave. Con esto se busca monitorear el consumo específico del edificio y compararlo con otros similares. También se pueden incluir los aspectos económicos y ambientales relacionados con el consumo de energía del inmueble.

Las características para este tipo de indicadores se resumen de la siguiente forma:

- Aspecto medido: consumo de energía eléctrica y potencia instalada del sistema, relacionada con la superficie y la ocupación. (Figura 12).
- Responsable del indicador: administrador del edificio.
- A quién se le informa: a la dirección institucional, a través de grupos primarios o reuniones mensuales.
- Frecuencia de medición: al menos cada mes se deben preparar y analizar los indicadores.

Para obtener los indicadores relacionados con la ocupación del edificio, se deberá realizar el perfil de ocupación del espacio, en donde se muestra el número de usuarios total del edificio para todos los días de la semana y para cada horario del día (tabla 2).

Con base en los indicadores planteados, es factible el ahorro energético mediante el análisis y diagnóstico de los consumos y la carga instalada; para lograr las metas esperadas, se deben utilizar equipos de automatización y control. El porcentaje de disminución promedio de los indicadores puede llegar a ser del 10 al 15 por ciento de ahorro, por lo que se hace necesario realizar un seguimiento continuo de los indicadores (Pinzón, 2014).

Tabla 2. Consumo de energía eléctrica y potencia Instalada. Fuente: elaboración propia con base en Pinzón, 2014.

Edificio monitoreado			
Indicador	Unidad	Valor de consumo	Documento para fuente de información
Índice de consumo energético por superficie total	kWh/mes-m ²	El valor de la lectura	Facturas de la CFE y el plano arquitectónico
Índice de potencia instalada por superficie total	W/m ²	El valor de la lectura	Potencia total instalada del inventario de equipos o del censo de carga, además de la superficie del plano arquitectónico
Índice de consumo energético por persona	kWh/mes-persona	El valor de la lectura	Número total de usuarios del inmueble
Índice de potencia instalada por persona	W/persona	El valor de la lectura	Potencia total instalada del inventario de equipos o censo de carga con el número total de usuarios del inmueble

Conclusiones

Cada día son más importantes los temas de sustentabilidad en la arquitectura, no sólo por el impacto ambiental que se genera, sino también porque tanto los arquitectos como los futuros usuarios están educándose más sobre el tema y saben de la importancia de que los proyectos que se realicen sean lo más eficiente posibles, no sólo para aminorar la huella ecológica, sino también para hacer proyectos más atractivos para los usuarios que buscan que sus recintos gasten menos energía, agua, etc.

En la actualidad los edificios son responsables de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del cambio climático. Debido a esto, reducir el uso de energía operacional ha sido considerado una estrategia clave para el desarrollo de una arquitectura más sustentable. Sin embargo, dada la proliferación de edificios de bajo consumo energético, es necesaria una aproximación más holística que permita cuantificar el impacto energético y ambiental del ciclo de vida de los edificios. Este análisis busca desarrollar una base de

conocimientos, estrategias y herramientas de diagnóstico para ser capaces de medir, calcular y reducir la cantidad emisiones de CO₂ y energía incorporada durante la vida útil de un edificio; es decir, producción, construcción, operación y demolición o reciclaje de éste.

Dicho análisis se basa principalmente en la energía empleada en la climatización, la iluminación artificial, así como en los equipos conectados de cada dependencia. Con base en los resultados obtenidos a través de las distintas etapas de investigación, es posible realizar una auditoria energética, con el fin de proponer las recomendaciones de adecuación ambiental de los espacios arquitectónicos de la propia institución en busca del ahorro energético y la optimización de los recursos institucionales, así como mejorar las condiciones laborales de los usuarios. (Arias y Ávila, 2015).

Bibliografía

- Arias, S. y Ávila, D. (2015). *La iluminación natural en la arquitectura*. Guadalajara: Ediciones de la Noche.
- Baker, N., Steemers, K. y Fanchiotti, A. (1993). *Daylighting in architecture. A european reference book*. Londres: James & James Science Publishers.
- Fontoynt, M. (1995). *Daylight performance of buildings*. Francia: James & James Science Publishers.
- Hunter, K. y Robbins, C. Recommended practice of daylighting. *Illuminating engineering*, vol. 57, 517 p.
- Moore, F. (1989). *Concept and practice on architectural daylighting*. USA: Van Nostrand Reinhold.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos). (2002). Grupo de trabajo sobre política nacional ambiental, México.
- Pinzón, J, Corredor, A., Hernández, J. y Trujillo, C. (2014, julio-diciembre). Implementación de indicadores energéticos en centros educativos caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete-Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Revista Escuela de Administración de Negocios*. Consulta del 11 de noviembre de 2018 en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20633274013>> ISSN 0120-8160

Reinhart, C. (2013, agosto) *UMI*-an urban simulation environment for building energy use, daylighting and walkability. Actas de la 13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambéry, France.

Robbins, C. y Hunter, K. (1983). *Model for illuminance on horizontal and vertical surfaces*.

Contacto de la autora

- SILVIA ARIAS OROZCO
Universidad de Guadalajara
silviarias29@hotmail.com

Aporte de los programas informáticos de eficiencia energética y ambiental en la construcción de edificaciones para la construcción 4.0

*Yokasta García Frómeta
Gilkauris Rojas Cortorreal
Julio Peña*

Introducción

La construcción de edificaciones es un producto de la cultura de los seres humanos, por lo que tiende a ser una actividad antinatural que normalmente tiene un impacto sobre el medio ambiente. Aunque sea una actividad antinatural, está enfocada en la protección de las vidas humanas y las pertenencias materiales ante las inclemencias del tiempo, siendo de carácter vital para la supervivencia. Las edificaciones son responsables del consumo del 41 por ciento de la energía que se produce a nivel global (La Casa que Ahorra) y del 28 por ciento de las emisiones de CO₂. Gran parte de esta energía proviene de combustibles fósiles, lo cual nos muestra que hay una relación directa entre las edificaciones y el efecto invernadero, y las consecuencias que de él se derivan, como el cambio climático.

Además de la contaminación del aire, el proceso de construcción y puesta en operación de las edificaciones es susceptible de afectar otros elementos del medio ambiente, como el suelo o el agua. Por eso es muy importante que se aborden los procesos de diseño-construcción-operación de las edificaciones desde una perspectiva de sostenibilidad.

Como ya hemos dicho, las edificaciones desde la antigüedad hasta ahora, además de satisfacer las necesidades espaciales de sus usuarios, tienen la responsabilidad de protegerlos y resguardarlos ante las inclemencias de la naturaleza. De ahí proviene su importancia y la necesidad de adaptarlas a las nuevas

disposiciones de muchos países que están implementando estrategias sostenibles para su construcción. Disposiciones o normativas planteadas con el interés de reducir el consumo energético de las mismas, para con ello contrarrestar el sobrecalentamiento del planeta y los efectos del cambio climático.

En la sociedad actual, que vive una revolución tecnológica sin precedente, para casi todas las actividades que desarrollamos los seres humanos existe un software, una aplicación (App) o recursos tecnológicos, que facilitan y hacen más eficientes las tareas que empendemos. La proyección y construcción de edificaciones no escapan a esta realidad, por eso existen una diversidad de softwares que nos permiten lograr proyectos de edificaciones más sostenibles y amigables con el medio ambiente. Dentro de este panorama, la Construcción 4.0 viene aportar un nuevo paradigma. La Construcción 4.0 tiene como enfoques principales la industrialización y digitalización de los procesos constructivos, además aporta nuevas maneras de hacer negocios.

Este cambio crea un sin número de ventajas, proyectando una transformación del sector construcción. Dentro de este sinnúmero de ventajas, en este apartado nos enfocaremos en cómo determinados softwares nos permiten prever y corregir errores a través de la información que se obtiene y los análisis que nos permiten realizar, como la optimización de los procesos constructivos a través de las tecnologías aplicadas.

Realizaremos el análisis de algunos de esos softwares, los más relevantes en el ámbito de la eficiencia energética y ambiental en la construcción de edificaciones, con miras de animar a los lectores, profesionales del área, a entusiasmarse y apropiarse de estas herramientas para lograr proyectos de edificios más cónsonos con el medio ambiente como forma de reducir el impacto que tienen sobre el mismo la construcción de edificaciones. Otro factor interesante de estas herramientas es que las mismas nos permiten analizar nuevos proyectos de edificaciones que nacerán con las estrategias de mejoras que le permitan cumplir con la perspectiva actual de diseño sostenible. También estas herramientas informáticas nos permiten estudiar a profundidad edificaciones construidas y en uso, que requieran ser rehabilitadas energéticamente. Lo que permitirá elegir la mejor opción para dicho proyecto, ya que con un pronóstico de los resultados a obtener se pueden brindar mejores soluciones.

Parámetros climáticos y urbanos que influyen en la construcción de edificaciones

Entre las edificaciones y el medio ambiente existe una relación biunívoca, además de que la arquitectura juega, entre sus roles fundamentales, el de ser mediadora entre las condiciones climáticas y las personas que habitan las edificaciones. El edificio modifica el entorno natural exterior, modera el clima y proporciona protección y abrigo (Hernández Pezzi, 2010).

El consumo energético de las edificaciones está muy vinculado a estas funciones: calentar o refrigerar, iluminar natural o artificialmente, ventilar o despejar la humedad, que son procesos que se pueden hacer con mayor o menor consumo de energía dependiendo de los criterios de diseño aplicados.

Los criterios de diseño y las herramientas tecnológicas que tengamos a la mano son factores fundamentales para realizar una arquitectura más amigable con el medio ambiente.

Algunos de los elementos climáticos que deben ser tomados en cuenta, y a los cuales se le debe dar respuestas adecuadas si queremos proyectar edificaciones ambientalmente conscientes, son los siguientes:

Asoleamiento

Como todo lo relacionado al control climático en las edificaciones, no hay una única verdad o una única receta, todo depende de la latitud en la que se encuentra la edificación, el tipo de clima en la que está y lo que se pretende lograr desde el punto de vista del confort.

Cuando hablamos de asoleamiento en la arquitectura nos referimos al manejo del sol que incide en las edificaciones y el provecho que podemos hacer de él con miras al ahorro energético; por ejemplo, si estuviéramos en la zona tropical, un clima cálido-húmedo, desde el punto de vista del asoleamiento le daríamos privilegio a la proyección de sombras, se evitaría la inercia térmica y la incidencia solar directa; pero por el contrario, si se tratase de un clima frío se debería dar privilegio a la exposición de la edificación y los espacios al sol, ayudando a que se tenga una mejor captación solar, privilegiándose la preservación del calor.

El aporte energético de los rayos solares en gran medida depende del ángulo con que inciden los mismos: mientras más grande sea ese ángulo de proyección, mayor calor tiende a transmitir. Recordemos aspectos macroclimáticos, como el hecho de que es la zona tropical el único lugar del planeta donde los rayos de sol caen de manera perpendicular (90°) y esto hace que esta sea la zona más cálida. O el caso de las zonas polares, donde los rayos solares llegan con un ángulo tan pequeño que propicia que los hielos se mantengan sólidos de manera permanente.

El aporte de CO_2 de una edificación está muy vinculado al manejo del asoleamiento. Esto va ligado a que un mal manejo del asoleamiento en una edificación la hace que tenga mayor consumo energético, ya sea porque genera mayores necesidades de enfriamiento o calentamiento.

Una manera eficaz de abordar el tema del asoleamiento de las edificaciones es a través del llamado diseño solar pasivo, el mismo puede mejorar el rendimiento energético del edificio en tres aspectos: calefacción, refrigeración e iluminación. La importancia relativa de este ahorro energético varía según la situación y la función del edificio (Hernández Pezzi, 2010).

Temperatura

El concepto de confort es hasta cierto punto cultural y depende de aspectos como la vestimenta, el peso, la raza, el sexo y la edad, entre otros factores. De igual forma, son muchas las variables que intervienen en la consecución del mismo, varias de ellas ligadas a aspectos climáticos como la temperatura. De hecho, existe una modalidad de confort, el confort térmico, ligado al estado de bienestar de las personas en función de la temperatura.

Entendemos temperatura como el grado de calor; en el caso del clima, nos referimos al grado de calor del aire. La temperatura es uno de los elementos del clima que tiene un impacto más directo sobre las personas, de modo que es imprescindible que las edificaciones regulen la relación de las personas con este elemento climático como una forma de contribuir con el confort de los mismos.

Por otra parte, la temperatura puede también impactar el comportamiento estructural de las edificaciones y provocar determinados comportamientos de

los materiales empleados en la construcción, procesos de dilatación-contracción de las edificaciones, de ahí la trascendencia de tomarla en cuenta a la hora de proyectar las edificaciones.

La temperatura influye en la selección de materiales que se usarán en la construcción de las edificaciones, ya que los mismos se seleccionan, o deberían ser seleccionados, en función de lo que se quiera lograr desde el punto de vista de la temperatura. Influye también en el tipo de ventilación que se debe usar, por lo tanto, en el diseño y tamaño de las aberturas.

Humedad

La humedad es otro de los componentes del clima que tiene un gran impacto sobre las personas, y por lo tanto sobre las edificaciones. Cuando hablamos de humedad como elemento climático nos referimos a la humedad del aire, es decir, a la cantidad de agua, en forma de vapor, que contiene el aire.

De hecho, la temperatura por sí sola no nos garantiza el confort o la pérdida de éste; por eso, la relación que se da entre temperatura y humedad es más importante que la temperatura por sí sola. Sobre todo en los países de clima cálido y húmedo donde las altas humedades relativas aumentan la sensación de calor; es decir que por encima de la temperatura que registra el termómetro está la sensación que propicia la combinación temperatura-humedad.

Tan importante es el nivel de humedad del aire, que para De Vogt y Miller Chagas en su método del Polígono de Confort la humedad relativa aparece como una de las condiciones de base para el confort, que de acuerdo a lo que ellos proponen en ningún caso debería sobrepasar el 80 por ciento (Arvelo, 2016).

Viento

En climatología se entiende por viento al desplazamiento de masas de aires debido a las diferencias de presión atmosférica que se dan dentro de un territorio.

El viento puede tener efectos positivos y negativos sobre las edificaciones; como efectos positivos podemos citar el enfriamiento de las estructuras y la ventilación; como efecto negativo podríamos decir que es capaz hasta de poner

en peligro las edificaciones. En los entornos urbanos el viento tiende a tener un comportamiento turbulento, debido a los constantes cambios de dirección al que se ve sometido al encontrarse con obstáculos en su trayecto.

La ventilación es el flujo del aire a través de los espacios, tiene poca importancia en el clima frío, sin embargo, es de vital importancia en los climas cálidos y cálidos-húmedos. En estos tipos de clima, la ventilación hace grandes aportes al confort de los espacios interiores como mecanismo pasivo al bajar la temperatura del aire y despejar o hacer descender los niveles de humedad, garantizando el intercambio de calor por convección y la higienización de las masas de aire existentes en los espacios interiores.

Parámetros urbanos

Los entornos urbanos, como medio ambientes culturales, donde las edificaciones son una pieza muy importante, son uno de los lugares donde se sienten con mayor fortaleza los efectos de la contaminación. En ellos es donde se produce la mayor cantidad de CO₂ que contamina el aire y es causa del efecto invernadero. Su emisión depende de varios factores, como el clima, los modelos de uso de suelo, la densidad de población y el estilo de vida (Edwards, 2005). Los países más desarrollados son los mayores productores de CO₂, ya que hay una relación directa entre los estilos de vida, el desarrollo y el consumo energético.

La construcción de edificaciones sostenible sería el camino más corto para generar ciudades sostenibles. Si la sociedad acepta la idea de diseñar edificios sostenibles, el desarrollo sostenible de las ciudades se producirá como una consecuencia lógica (Edwards, 2005).

En este esquema el arbolado urbano tiene un rol fundamental que jugar, convirtiendo el CO₂ que se genera en los entornos urbanos en oxígeno, a partir del proceso de fotosíntesis. De ahí la trascendencia de tener adecuados sistemas de arbolado en las ciudades.

Es a partir de los parámetros anteriormente señalados que el uso de la tecnología cobra su importancia capital. Existe en el mercado una diversidad de softwares que contribuyen al manejo correcto de los diversos elementos que confluyen en el entorno urbano y a los cuales se debe dar respuesta a través de la proyección y construcción sostenible de edificaciones (Olgay, 1998).



Figura 1. Campos de interrelacionados del equilibrio climático. Fuente: *Arquitectura y clima*, Olgay, 1998.

La tecnología disponible para manejar todos los parámetros anteriormente mencionados a nivel del proyecto de diseño ha venido a facilitar la realización de proyectos medio ambientalmente más conscientes y a su vez más pertinentes para la Construcción 4.0. Por ejemplo, actualmente se tiene acceso directo a datos de estaciones meteorológicas que están en línea y que cuentan con un sinnúmero de aplicaciones que permiten evaluar la condiciones climáticas y ambientales en el proyecto de diseño, tanto a nivel inicial del proyecto o durante su diseño como en proyectos ya realizados para generar intervención en el mismo, lo cual asegura mayores niveles de confort.

Muchas de esas aplicaciones están disponibles en dispositivos tan prácticos como los teléfonos móviles y tabletas, entre otras, lo cual da una gran flexibilidad a la hora de manejar esos parámetros en un proyecto. Por ejemplo, contamos con aplicaciones que nos representan de manera 3D la carta solar *in situ*, permitiendo evaluar y tomar decisiones en el propio terreno.

Tipos de programas y sus herramientas de análisis

En la actualidad, según las necesidades o normativas de cada país se implementan diferentes tipos de programas para el análisis de eficiencia energética y ambiental de las edificaciones. En este apartado, se realizará una descripción y

posterior análisis de estos diferentes tipos de programas, y de las herramientas que cada uno de ellos brindan para el estudio de nuestra edificación. Se debe tomar en cuenta que cada programa conlleva una metodología distinta o datos a suministrar al programa, elemento base que debemos conocer y manejar para poder obtener un correcto resultado.

EnergyPlus

El *EnergyPlus* es un software diseñado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2019). Es una plataforma presentada completamente en lenguaje de programación, lo que lo hace complejo para suministrar y proporcionar los datos y/o resultados del análisis.

A su vez, es uno de los programas más completos en este sentido, lo que lo hace el motor base para otros programas en la simulación de edificios. El *EnergyPlus* es un programa gratuito, con manuales al alcance del usuario. Este programa cuenta con:

- Zona térmica.
- Sistema HVAC (puede simular sin y con aire acondicionado).
- Análisis térmico: radiación, convección, temperatura superficial, confort térmico y cálculo de condensación.
- Análisis por hora.
- Modelo de transferencia de calor y masa.
- Modelo de abertura.
- Cálculos de iluminancia y deslumbramiento.
- Modelo de HVAC.
- Estrategias de control de iluminación y HVAC.
- Interfaz de importación y exportación.
- Resumen de informe.

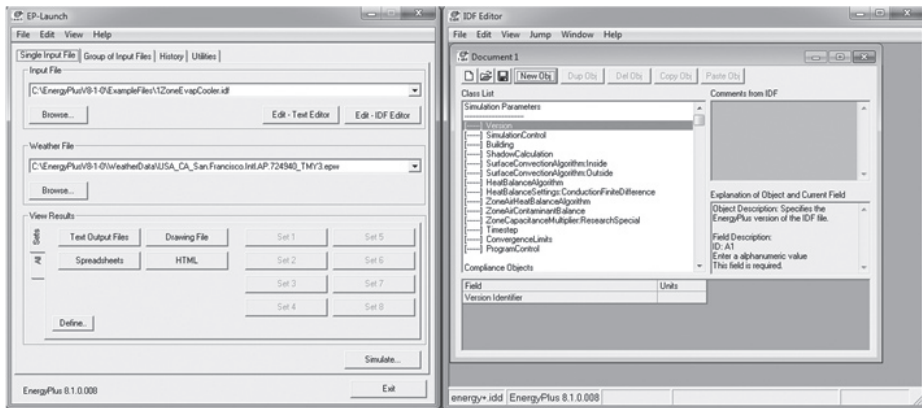


Figura 2. Vista de la plataforma del programa Energy Plus. Fuente: elaboración propia.

DesignBuilder

Es uno de los programas que se destacan como mejor interfaz gráfica del *Energy-Plus*. Es muy amigable a la hora de introducir los datos y diseño de los elementos del proyecto a estudiar. El *DesignBuilder* es un programa de pago, diseñado para el uso de profesionales en las áreas de la arquitectura, la ingeniería y la asesoría energética (DesignBuilder, 2015). Cuenta con once módulos de análisis:

- Modelador 3D.
- Visualización de imágenes renderizadas y sombreado.
- Certificación EPC y cálculos de la parte L2 (Reino Unido e Irlanda).
- Simulaciones con *Energy Plus* para análisis de confort y energía.
- Análisis de luz de día utilizando el *Radiance*.
- HVAC (Heating, Ventilating, Air conditioned) es el análisis de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- Estimación en costos de construcción.
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios.
- Optimización de criterios para cumplir objetivos del diseño.
- Secuencias de comando personalizando las simulaciones.

- CFD (Computational Fluid Dynamics) que analiza las propiedades del aire y del alrededor.
- Este programa cuenta con un gran público debido a su versatilidad en resultados y al logro de objetivos en un solo sistema.

DOE 2

Software enfocado en el análisis de energía y costo de los edificios (DOE2, 1998). Cuenta con las siguientes herramientas:

- Descripción de la edificación.
- Horarios de operación.
- Sistema de acordonamiento (iluminación y HVAC, entre otros)
- Utilidad del usuario.
- Datos meteorológicos.
- Simulación por hora.
- Facturas de servicios.
- Es muy aceptado por el público; el programa es gratuito lo que permite el acceso de varios usuarios.

Lider-calender (HULC)

Esta herramienta, unificada en 2016, facilita la realización de informes de evaluación energética en formato electrónico (*Lider-calender HULC*, 2016), siendo este el documento reconocido a nivel nacional en la calificación energética de las edificaciones de España. Tiene como consideración principal el Código Técnico de la Edificación (CTE). Se centra en el análisis de demanda y consumo energético.

Cerma y Atecyr

Son programas alternativos al anterior, por lo que se describen como programas informáticos enfocados en el análisis de viviendas, y son de acceso gratuito. (Atecyr & Instituto Valenciano de la edificación, 1974). Atecyr es la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración.

CE3 y CE3X

Estos programas tienen una plataforma amigable para la calificación de eficiencia energética en edificaciones de viviendas y terciarios. Disponibles en la página del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (IDAE, 1974).

Estos programas son una herramienta muy eficiente para la correcta elección y evaluación de varios parámetros en la construcción, como la obtención de resultados para prevención o intervención previa. Varios estudios plantean estas herramientas como elementos de investigación y desarrollo (I+D) que permiten una implementación a nivel educativo (grado, maestría y doctorado). Igualmente la comunidad docente puede crecer en la investigación científica a nivel nacional como internacional permitiendo un crecimiento de información científica (Barajas, 2015; Calzada, Paredes y Matías, 2014).

Podemos apreciar que existe una diversidad de programas que nos permiten evaluar el consumo energético, la eficiencia energética, los horarios de operación, el sistema de Iluminación, la funcionalidad del usuario, los datos meteorológicos, la simulación por hora, las facturas de servicios y los sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros. Lo cual se traduce en edificaciones ambientalmente más conscientes, más confortables y de menores costos. Ya que la toma de decisiones está basada en el conocimiento científico obtenido mucho antes de realizar la ejecución del proyecto.

Indicadores para el correcto análisis de resultados

En el análisis del consumo energético de una edificación entran en juego varias variables. De éstas podemos definir los siguientes indicadores:

Envolvente

Podemos definir la envolvente de un edificio como la piel que tiene contacto con el exterior. Esta piel está vinculada a tres mecanismos de transferencia de calor: convección, conducción y radiación. Estos mecanismos influyen en el consumo

y demanda de una edificación. Por este motivo es uno de los elementos más relevantes para el análisis energético de una edificación. La convección transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas, la cual solo se produce por medio de materiales.

La conducción transfiere el calor a través del material. Por esto, la envolvente debe desglosarse cuidadosamente en el programa indicando correctamente el tipo de material, así como el aislante térmico que posee. Principalmente, se debe tomar en cuenta el coeficiente de conducción térmica del material en el programa.

La radiación, por otra parte, es la capacidad de un material de emitir radiación absorbida. La radiación que el material absorbe durante el día la emite generando aportaciones de calor al ambiente. Estos aportes de calor crean demandas de acondicionamiento interior.

Para un correcto análisis de la envolvente se debe tomar en cuenta el calor específico y la transmitancia térmica de cada material, ya que son los principales elementos que definen las aportaciones o pérdidas de calor a través de los materiales.

El suelo es otro importante elemento a considerar, ya que el mismo tiene contacto con la piel del edificio y realiza un intercambio con la misma. Este porcentaje de piel en relación a la total del edificio es relevante ya que el suelo es un elemento con gran nivel de inercia térmica, por lo que crea un efecto de amortiguación y al mismo tiempo de retardo en el comportamiento de la temperatura de la piel y del edificio.

Aberturas (ventanas y puertas)

Las aberturas en la edificación son un elemento que genera pérdida o ganancia en una edificación a través de la convección como intercambio térmico. La convección es movida a través de un fluido, en este caso el viento. Tenemos dos tipos de movimientos: natural o forzado. El natural es aquel que por intercambio físico genera el intercambio. El forzado es el que se crea mediante un mecanismo, como los abanicos o acondicionadores de aire, que implican un aumento del consumo energético. La convección forzada, equivalente a la ventilación cruzada, es altamente deseable en climas cálidos. El intercambio

térmico se genera a través del acristalamiento, que crea el efecto invernadero. Este efecto tiene como función la aportación de radiación al ambiente interior, la cual atraviesa el cristal creando aportaciones a los materiales interiores, conteniendo este calor que luego es liberado generando un calentamiento del espacio, calentamiento que obviamente no es deseable en los climas cálidos y es bienvenido en los fríos. Los cristales utilizados en las edificaciones son uno de los materiales que han avanzado más en esta época de la tecnología, pues hoy se puede contar con cristales que reducen significativamente la radiación que transmiten al espacio interior, lo cual ha permitido que el mismo pueda ser usado de manera profusa en climas cálidos y hasta en la zona tropical, sin aumentar significativamente el consumo energético ya que no incrementa de manera significativa la temperatura a enfriar.

Por lo que, dependiendo del clima y la función del espacio, generar intercambio puede ser positivo o negativo en cuanto al consumo se refiere. Estos parámetros deben ser tomados en cuenta a la hora de introducir los datos, así como al analizar los resultados.

Ubicación y orientación

La ubicación es uno de los parámetros principales a suministrar en el programa. A través del mismo se definen los parámetros climáticos, latitud, longitud, altitud, radiación incidente y dirección del viento. Todos estos parámetros definen los elementos climáticos que influyen en la edificación. Un dato mal suministrado de ubicación puede arrojar resultados no fiables para el análisis del mismo.

Igualmente, la orientación es un parámetro que define los indicadores principales de captación de energía. Dependiendo de la orientación se toman decisiones en el diseño e igualmente influye en los resultados que ofrece el programa.

Instalaciones HVAC

Las instalaciones HVAC deben definirse en el programa, lo que permite diseñar y evaluar los complementos y energías renovables que se acoplen al sistema. El programa cuenta con una variedad de sistemas que permiten evaluar los

posibles sistemas y generar propuestas que cumplan con los requerimientos de consumo de energía, y al mismo tiempo crea ambientes de confort en la edificación.

La facilidad de esta herramienta es que una vez planteado el proyecto, el sistema obtiene resultados que pueden ser evaluados. En el caso de no cumplir con los requerimientos deseados, se puede plantear otro sistema que sí los cumpla.

Protección solar

Los elementos de protección solar de los edificios son aquellos que protegen la piel y los huecos de la radiación solar directa a través de la sombra proyectada por ellos. Es importante definir estos elementos correctamente en el proyecto. Un correcto sistema de protección solar logra disminuir grandemente aportaciones de radiación solar directa.

Dependiendo del clima, en ciertas épocas del año se busca siempre reducir las ganancias al mínimo posible. Estos elementos de protección son fundamentales en climas en los que durante todo el año se requiere una disminución de ganancias, como en el trópico o los climas cálidos.

Estos indicadores son la base tangible.

Metodología y caso de estudios

Como se ha podido apreciar, existe una gran variedad de programas que son aplicables tanto en el contexto educativo como en plano comercial para la evaluación de diferentes sistemas alternativos de construcción sostenible. Por este motivo, para el estudio y análisis de mejora de la vivienda tradicional dominicana se ha evaluado un caso práctico con el uso de *DesignBuilder*, uno de los más potentes programas de eficiencia energética y ambiental.

La metodología que se utilizó en este caso de estudio, para su análisis inicial, consistió en introducir en el programa los datos básicos de una vivienda, los cuales fueron cotejados y comparados después con la vivienda optimizada resultante. Dentro de los análisis que se han realizaron estuvo la búsqueda de la orientación óptima, donde las ganancias solares por medio de los huecos y

cerramientos fueran las mínimas; el estudio de los aleros, como elemento de protección solar de las fachadas; y finalmente, la incorporación del Poliestireno Expandido (EPS), como aislamiento térmico en las fachadas y de la cubierta.

Aplicación de *DesignBuilder* en el análisis de la vivienda tradicional dominicana

Según la Oficina Nacional de Estadística de República Dominicana, el mapa edificatorio de las viviendas del país está dividido en un 74.03 por ciento ubicadas en zonas urbanas y 25.97 en zonas rurales. Siendo los dos grandes grupos representativos de su totalidad general el 77.53 por ciento de casas individuales y el 10.85 de apartamentos residenciales. Mientras que el 6.64 por ciento son piezas en cuarterías o parte atrás, el 0.74 de familias que viven en barracones y el 2.26 de familias que tienen que vivir junto a sus negocios (Oficina Nacional de Estadística, 2010).

Este análisis se hizo con el primer grupo mayoritario de viviendas del país, el representado por el 77.53%. Con una configuración estructural tradicional de su envolvente, descrita por muros de fachadas a partir de bloques de hormigón de 8 pulgadas y una cubierta de losa maciza de hormigón armado de 12 centímetros. El recubrimiento o enlucido de las paredes es de un un típico mortero de cal-arena (tabla 1).

La distribución de los espacios o zonas de la edificación residencial analizada está compuesta por cuatro habitaciones: sala-comedor, terraza, cocina y baño. Comprendiendo todo esto un total de 50 metros cuadrados, aproximadamente, de construcción, acorde con los requerimientos del reglamento mínimo de espacios para viviendas urbanas (M-016) del MOPC (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, n.d.) (figura 3).

Configuración dentro del *DesignBuilder*

Como se ha especificado antes, en el apartado de los indicadores para el correcto análisis de resultados, los datos climáticos del lugar de ubicación son cruciales.

Tabla 1. Datos térmicos de los materiales de los cerramientos tradicionales de la vivienda.
Fuente: elaboración propia.

Material	Conductividad W/m.K ²	Transmitancia Kg/m ³
CR		
Mortero de Impermeabilización	0.800	2.423
Hormigón Armado	1.400	
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	
FR		
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	2.451
Hormigón Armado	1.400	
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	

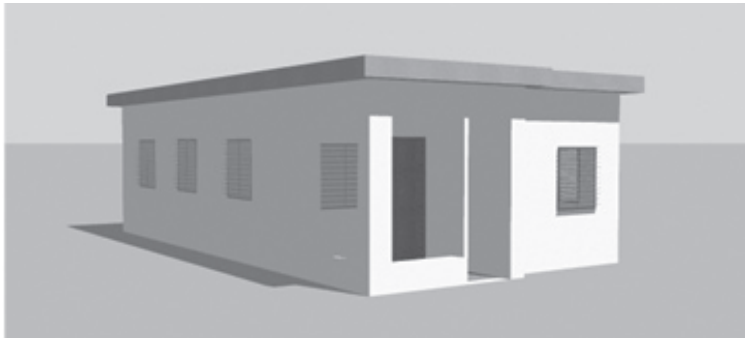


Figura 3. Caso de estudio (MR). Fuente: elaboración propia.

Este modelo ha sido localizado en la Ciudad de Santo Domingo, y se dotó al programa de la información necesaria para la descripción de la ubicación y del tipo de vivienda a estudiar (tabla 2).

Los análisis de eficiencia energética se basaron en una primera simulación del caso de estudio de las temperaturas anuales, para lo cual se seleccionó la semana del 11 al 17 de junio, en la que las temperaturas son las más altas, y por lo tanto, la de temperaturas más desfavorables (García, 2018; García, Cuadrado, Blanco y Roji, 2018)

Tabla 2. Datos de configuración proporcionados al *DesignBuilder*. Fuente: elaboración propia.

Ubicación		Edificio	
Ciudad	Santo Domingo	Tipo de Terreno	Urbano
Latitud	18.43°	Actividad	Residencial
Longitud	-69.88°	Ocupación	4.5 Personas
Zona Horaria	GMT-04:00	Ventilación	Natural
Zona Climática	1A		

Búsqueda de la orientación óptima

Proporcionar a las edificaciones la orientación más favorable y adecuada respecto al sol incrementa significativamente el ahorro energético de la misma, ya que le permite tener un mejor control de las ganancias solares que se consiguen a través de sus muros y aberturas (figura 4).

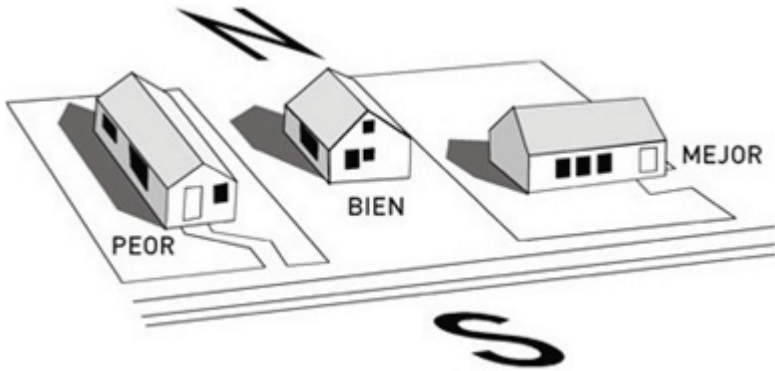


Figura 4. Medidas pasivas. Fuente: Ayreblog.

A continuación, se procedió a ejecutar las simulaciones para las ocho orientaciones de evaluación (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO). De este análisis se obtienen las orientaciones en las que las temperaturas internas alcanzan los niveles más bajos y más altos (tabla 3).

Tabla 3. Resultados de las simulaciones en las distintas orientaciones. Fuente: elaboración propia.

Semana	Orientación	Temp. operativa °C			Humedad relativa %			Temp. exterior °C		
		Media	Max.	Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.	Min.
11 jun-17 jun	Sur 0°	28.30	32.31	24.48	76.91	89.32	60.24	28.34	35.46	22.27
	Suroeste 45°	28.28	32.28	24.50	77.06	89.18	60.88			
	Oeste 90°	28.25	32.21	24.44	77.22	89.73	61.02			
	Noroeste 135°	28.38	32.31	24.51	77.04	89.70	60.57			
	Norte 180°	28.35	32.23	24.47	77.08	89.66	59.94			
	Noreste 225°	28.32	32.19	24.47	77.18	89.60	60.01			
	Este 270°	28.24	32.03	24.44	77.31	89.62	61.31			
	Sureste 315°	28.31	32.19	24.47	76.88	89.34	60.82			

La tabla 3 contiene los resultados de las temperaturas operativas, la temperatura exterior y la humedad relativa de cada una de las orientaciones analizadas, y se pueden comparar las diferencias que se presentan entre ellas. Los resultados están divididos en promedios mínimos y máximos en la semana representativa de clima de verano analizado, en el que se registraron las temperaturas más desfavorables del año. Las temperaturas operativas van desde 24.44°C hasta 32.28°C. A su vez, las humedades relativas interiores tienen un rango que va desde 59.94 por ciento hasta 89.73.

Aleros, como elemento de protección solar

El uso de aleros o prolongación horizontal de las cubiertas, en el perímetro de la vivienda, como medida de protección solar, es una práctica convencional en estas edificaciones típicas de República Dominicanas, las cuales han sido estudiadas aquí. El valor promedio de dicho alero no sobrepasa los 0.30 metros. Por ello es que se ha analizado, ya que puede aportar dicha extensión en el bloqueo de la radiación solar a los muros exteriores de la vivienda (figura 5).



Figura 5. Conservación de Energía en Viviendas y Edificios(Fernández y Carella, 1981)

En este análisis se evalúan y comparan tres dimensiones distintas fuera del contorno del edificio, 0.30 metros (que es la más común, frente a las de 0.50 metros y 0.80, representada en la figura 6.



Figura 6. Prolongaciones de los aleros. Fuente: elaboración propia.

Los resultados del estudio de sombreadamiento, demuestran que la inclusión de los aleros reduce ligeramente la temperatura interior con un promedio de diferencia con respecto al alero de referencia de 0.30 metros en 0.16 por ciento en relación al de 0.50 metros y en 0.29 por ciento frente al de 0.80 metros (ver tabla 4).

Tabla 4. Temperaturas operativas según la longitud del alero. Fuente: elaboración propia.

MR	30 cm	50 cm	80 cm
°C	28.4	28.19	28.16
% de mejora	-	0.16	0.29

Incorporación de aislante a la envolvente

Dentro de las estrategias de mejoras pasivas que se pueden ejecutar de manera fácil, tanto en nuevos proyectos como en la rehabilitación de viviendas, está la incorporación de aislamiento térmico a los cerramientos de la edificación. Y dentro de estas medidas tan comunes están los sistemas SATE (Sistema de Aislamiento Exterior). En este análisis se utilizó este sistema por su efectividad, simplicidad de instalación y por su mínima modificación al esquema estructural tradicional de República Dominicana.

El aislante propuesto es el Poliestireno Expandido (EPS), ya que la población profesional del país conoce bien el material, y no se requeriría de una capacitación adicional para su instalación. Debemos destacar que en República Dominicana, en la actualidad, no existe ninguna normativa o reglamento que regule u obligue al uso de aislamiento térmico en sus edificaciones. Lo que hace que esta práctica sea una medida incorporada por profesionales y proyectistas pre-ocupados por la reducción del consumo energético de sus proyectos, y a su vez contribuye a la ejecución de un tipo de construcción sostenible (tablas 5 y 6).

Para el aislante, se realizaron dos análisis por separado de la vivienda: uno con la configuración tradicional de sus cerramientos, y otro con la incorporación de 5 centímetros de EPS, tanto en la cubierta como en la fachada. ¿Por qué 5 centímetros de aislamiento? Porque luego de un estudio de selección del espesor óptimo, ésta ha sido el grosor resultante (García *et al.*, 2018 y García, 2018)

En la tabla 7 se ven desglosados los resultados de las dos simulaciones realizadas al caso de estudio tradicional (MR) y al caso de estudio con la incorporación de 5 centímetros de EPS, tanto en la fachada como en la cubierta (MA). En la sección B de dicha tabla se puede apreciar que se alcanza un 94.05 por ciento de mejora al presentar un modelo de vivienda perfectamente aislado, el cual, según la sección C, solo requiere un incremento de 2.81 por ciento de su presupuesto general.

En la figura 7 se presentan los resultados generados por ambas simulaciones, hechas durante toda la semana de estudio. Se ve cómo el caso que cuenta con el EPS en sus cerramientos (MA), permanece casi un 100 por ciento del tiempo de análisis dentro del rango de confort, establecido por la ASHRAE 55.

Tabla 5. Cubierta aislada. Fuente: elaboración propia.

Material	Conductividad W/m.K°	Transmitancia Kg/m³
CA		
Grava Suelta	0.360	0.565
Poliestireno Expandido	0.040	
Hormigón Armado	1.400	
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	

Tabla 6. Fachada aislada. Fuente: elaboración propia.

Material	Conductividad W/m.K°	Transmitancia Kg/m³
FA		
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	0.603
Poliestireno Expandido	0.040	
Bloque de Hormigón 8"	1.040	
Mortero de Cal-Arena (Pañete)	0.700	

Tabla 7. Comparación de los dos modelos analizados. Fuente: elaboración propia.

A (168 Hrs.)	Horas	MR	MA
	Confort	66	158
	Disconfort	102	10
	Ganancias	-	92
B (%)	Mejora	-	54.76%
	Total	39.29%	94.05%
C (W/m².K)	CR	2.423	0.565
	FR	2.451	0.603
	% Mejora	CA	76.68%
		FA	75.40%
D (%)	Incremento de costo	-	2.81%

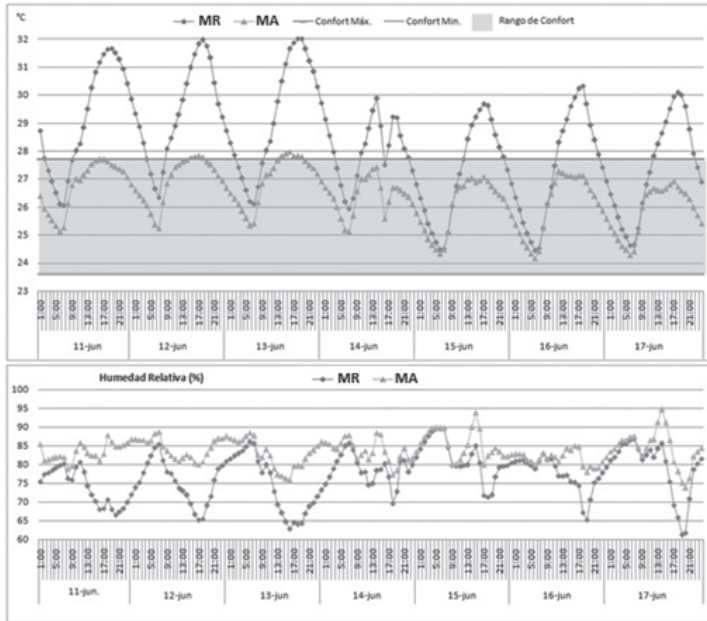


Figura 7. Gráfica comparativa del MR y MA. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con el interés de resaltar los aportes que brindan las herramientas de la revolución de la Construcción 4.0 y de obtener una apreciación real de las aportaciones que brinda el utilizar programas informáticos de eficiencia energética y ambiental en el diseño y rehabilitación de los proyectos de construcción de edificaciones, se analizó el caso más representativo de las viviendas populares en República Dominicana.

El análisis se ha enfocado en el comportamiento térmico de las viviendas, los cuales son acordes con la metodología de trabajo, aplicando el uso de herramientas informáticas avanzadas y de última generación, como el *DesignBuilder*. Al observar cuáles serían las mejoras que se presentarían en las edificaciones

típicas residenciales de una planta (77.3 por ciento del total de las viviendas del país), según los tres tipos de análisis (orientación óptima, elementos de protección solar y envolvente del edificio) se reunieron las siguientes conclusiones para la semana del 11 al 17 de junio, la cálida más desfavorable:

- Al buscar la orientación más favorable, que brinde menor exposición al sol, permitiendo que las temperaturas internas del caso típico de estudio de vivienda unifamiliar (MR) presenten las temperaturas más cercanas al rango de confort establecido por la ASHRAE 55 para una zona climática del tipo 1A, se concluye que para una vivienda tradicional, con la distribución similar a la del MR, la orientación más favorable resultante de las simulaciones en las ocho orientaciones analizadas (N, NE, E, SE, S, SO, O y NO) es la que presenta la fachada frontal al Este-270°, que se tomó como referencia para posteriores análisis. Los valores de las temperaturas son los más altos, según las orientaciones analizadas, cuando la de su fachada frontal se presenta al Noroeste-135°. El rango de las humedades relativas, que abarca la mejor y peor de las orientaciones, se mantienen entre el 63 y el 90 por ciento.
- La prolongación de aleros perimetrales, como medida de protección solar en una vivienda unifamiliar típica en RD, no es una medida de mejora significativa que permita influir en las temperaturas interiores de la vivienda, ya que únicamente se alcanza un 0.16 por ciento de mejora en aleros de 0.50 metros y de 0.29 por ciento en aleros 0.80 metros de longitud de prolongación. Por lo que se concluye que el costo de implementación de esta medida es mayor a las ganancias o mejoras que la integración de esta técnica arquitectónica proporciona.
- En relación al estudio de la envolvente de la vivienda, la modificación de los cerramientos, que en este caso fue la inclusión de 5 centímetros de EPS a la configuración tradicional constructiva presentan que el resultado para el modelo aislado MA, compuesto por incluir en la parte exterior de la cubierta una capa de cinco centímetros de grava suelta y cinco de EPS, así como con el uso de dos capas en la fachada exterior del muro de 1.5 centímetros de mortero de cal-arena y cinco de EPS. Esta incorporación de aislante presenta resultados que se acercan a los estándares de confort requeridos para esta zona climática, teniendo una mejora en cuanto a horas de confort de 54.76

por ciento, permitiendo que las temperaturas operativas estén dentro del rango de confort en un 94.05 por ciento del tiempo de análisis, reflejado en 158 horas del tiempo total de la evaluación (168 horas).

Como conclusión final, los resultados del caso de estudio demuestran lo que los autores de esta investigación han comentado en cada uno de sus apartados: que la Construcción 4.0 nos ha llevado a la utilización de softwares de eficiencia energética y ambiental que son de vital importancia en la ejecución de diseños y estrategias de carácter sostenible; brindan resultados y valoraciones económicas que ayudan al diseñador, al ejecutor y al financiador a seguir los lineamientos de los estándares de confort internacionales, de una forma rápida y eficaz.

Bibliografía

- Arvelo, R. (2016). *Diseño bioclimático: confort con bajo impacto ambiental*. Santo Domingo: EGRAF.
- Atecyr e Instituto Valenciano de la edificación. (1974). CERMA y ATECYR.
- Barajas, L. (2015). *Procedimiento alternativo para la calificación energética de viviendas de nueva construcción*. Universitat Politècnica De Catalunya.
- Calzada, J., Antonio, R., Paredes, V., y Matías, L. (2014). *Uso eficiente de programas informáticos en arquitectura : designbuilder y dialux*. II Jornadas sobre innovación docente. En *Arquitectura*, 117-125, <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5821/jida.2014.5027>
- DesignBuilder. (2015). *DesignBuilder*.
- Doe2. (1998). *Doe2*.
- Edwards, B. (2005). *Guía básica de sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Fernández, R., y Carella, A. (1981). *Conservación de energía en viviendas y edificios*. En [http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html#LAS PAREDES Y LOS AISLANTES](http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html#LAS_PAREDES_Y_LOS_AISLANTES)
- García, Y. (2018). *Optimización de la sostenibilidad energética de edificaciones residenciales: una aplicación al caso de República Dominicana*. Universidad del País Vasco.

- García, Y., Cuadrado, J., Blanco, J, y Roji, E. (2018). *Optimizing the indoor thermal behavior of housing units in the dominican republic: analysis and modeling of sustainable constructive alternatives. Indoor and built environment, (1420-326X)*. En <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1420326X18792968>
- Hernández, C. (2010). *Un Vitruvio ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*. Barcelona: Gustavo Gili.
- IDAE. (1974). <https://www.idae.es/faq/programas-informaticos-reconocidos-ce3-y-ce3x-dudas-sobre-su-utilizacion>.
- LIDER-CALENER (HULC). (2016). *LIDER-CALENER (HULC)*.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (s.f.). *MO16: recomendaciones provisionales para espacios mínimos en la vivienda urbana. Santo Domingo, República Dominicana*. En <http://www.mopc.gov.do/media/1430/r-016-recomendaciones-para-vivienda-urbana.pdf>
- Oficina Nacional de Estadística. (2010). *Informe General del IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010*.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- The US Department of Energy's (DOE). (2019). *EnergyPlus*. En <https://energyplus.net/>

Contactos de los autores

- YOKASTA GARCÍA FRÓMETA
Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra
yi.garcia@ce.pucmm.edu.do
- GILKAURIS ROJAS CORTORREAL
Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña
gilkaurisrojas@gmail.com
- JULIO PEÑA
Universidad Autónoma de Santo Domingo
juliopena78@gmail.com

Enfoques eco-tecnológicos del desarrollo sustentable y la vivienda social

David Carlos Ávila Ramírez

Introducción

En la actualidad, en los programas de vivienda mexicanos no solo se respalda la utilización de eco-tecnologías, sino que se aborda la eficiencia energética con base en el desempeño integral de la vivienda y ésta se basa en el tipo de construcción y de clima donde se establece. Sin embargo, depende de los desarrolladores y los propietarios de las viviendas el empleo de las tecnologías que ofrece el programa según la medida de eficiencia que deseen.

Si se considera a la vivienda como una máquina (un complejo sistema tecnológico que debe responder a las necesidades del habitante mediante la construcción basada en el clima), la eficiencia energética depende de las estrategias de diseño de ésta, con base en las necesidades ambientales y humanas. El diseño arquitectónico implica un sistema complejo de relaciones (físicos, biológicos, sociales y económicos) que interactúa con otros fenómenos y procesos que implican decisiones cuyas consecuencias se extienden en el tiempo y el espacio.

La vivienda social sustentable debe garantizar espacios que ofrezcan al usuario las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de sus actividades en situación de confort. Tanto la envolvente de la vivienda como los sistemas constructivos del interior, así como las ecotecnologías, juegan un rol fundamental para lograr estos fines. Para ello se debe considerar, entre otros elementos, el efecto del entorno, el comportamiento de los usuarios y el modo de operación de la vivienda de la cual se propone hacer un seguimiento mediante un sistema de monitoreo de la eficiencia energética.

En el caso de la vivienda social mexicana, ésta se rige por las normas de la vivienda mínima, entendiendo lo mínimo como los elementos de espacio, aire, luz y color indispensables para que el hombre pueda desarrollar sus funciones vitales sin ningún tipo de restricción. Sin embargo, para los actores que intervienen, en este caso los desarrolladores, el interés de la vivienda mínima se respalda en los prototipos de vivienda estandarizada, bajo un sistema de más por menos: más vivienda construida en el menor tiempo con el fin de economizar en materiales y recursos.

Al hablar de la vivienda social sustentable, ésta puede ser entendida como el resultado de los atributos de la vivienda social, más el enfoque sustentable brindado por el programa que la desarrolla, lo cual se resume en la integración de aspectos tecnológicos que cumplan con tales objetivos. Por lo tanto, se desarrolla con las mismas bases y criterios normativos de construcción que responden a los estándares mínimos de calidad para la vivienda de interés social, al Código de Edificación de Vivienda (CEV), así como a las recomendaciones y criterios de desarrollo sustentable por parte del Consejo Nacional de Vivienda (Conavi, 2010), y en el caso de la vivienda sustentable, con la Norma Oficial Mexicana en Eficiencia Energética. Sin embargo, con dichas dependencias y criterios normativos no es posible obligar ni la adopción ni la implementación de sus recomendaciones. Por lo tanto, en la actualidad el CEV únicamente sirve como código modelo de recomendaciones (Méndez y Velasco, 2013).

Objetivo de análisis

Las condicionantes actuales a las cuales obedece la constitución tecnológica de la vivienda, así como los continuos cambios en ésta, obligan a buscar nuevos horizontes y soluciones a las necesidades que van surgiendo con el paso del tiempo, por lo que es necesario tener en consideración que las tecnologías de las cuales depende la sustentabilidad en la vivienda social sufre cambios continuos, a la par de los cambios tecnológicos globales, sociales, económicos, políticos y ambientales, por lo que el enfoque clásico del desarrollo sustentable no resulta suficiente para el desarrollo de vivienda sustentable exitoso en el contexto de la 4ta. Revolución Industrial (Edwards, 2008).

La sustentabilidad como tal se entiende como la búsqueda de un equilibrio entre las dimensiones de los enfoques que idóneamente forman parte del concepto tradicional de desarrollo sustentable. Para entender la magnitud de tales conceptos en la arquitectura, se refiere al desarrollo sustentable como un objetivo por el cual es diseñado y desarrollado un producto, mientras que la sustentabilidad es un proceso en el cual, al hablar de arquitectura, se habla de un sistema mecánico (figura.1).

DS es un objetivo→ Producto mecánico
 S es un proceso→ Sistema (mecánico)

Figura 1. Diferencias entre el desarrollo sustentable y sustentabilidad. Edwards, 2008.

Metodología para el desarrollo sustentable y la vivienda

La relatividad del desarrollo sustentable como objetivo obliga a reexaminar las definiciones metodológicas que se han formulado en torno a él, puesto que la vivienda sustentable, vista como su producto arquitectónico, muestra diversos matices, que a su vez consideran posiciones diferentes sobre conceptos aparentemente compartidos. En este caso, las definiciones se ubican según corresponda al grado de relación entre los enfoques económico social y físico (figura 2). Se entiende como medio físico el lugar donde se desenvuelve el ser humano, ya se trate de un medio natural o uno transformado, en el que se desarrollen las actividades humanas, lo cual brinda el valor cuantitativo que necesita la vivienda (Martija, 2009).

Se requiere de un modelo metodológico adecuado para enfrentar el desafío del equilibrio en la relación de los elementos que conforman la sustentabilidad, y que exista un resultado eficiente desde una perspectiva ecológica (entendiendo que las ciudades no son lugares geográficamente homogéneos y que, en consecuencia, el espacio ocupado requiere de recursos naturales), recomienda sustituir el enfoque físico por el territorial, ya que la huella ecológica que deja va más allá del área construida y abarca territorios que se extienden más allá de la ciudad.



Figura 2. Definiciones de desarrollo sustentable y conceptos afines. Matija, 2009.

En este contexto, debe ser un desarrollo que no supere la capacidad de carga de un territorio, por lo que deben considerarse tres enfoques metodológicos importantes:

- La *necesidad* de sostener un crecimiento económico a partir de la incorporación de los costos de degradación y agotamiento de los recursos naturales que dicho crecimiento impone. En este enfoque, la degradación ambiental puede ser monetarizada buscando una ecoeficiencia o *eficiencia* en el uso de los recursos.
- La *relación* con el concepto de necesidades básicas, concibiéndolo como un medio para alcanzar el bienestar social valorando la existencia de una serie de condiciones ecológicas que son necesarias para sustentar la vida humana, en una distribución que tienda a la *equidad*.
- La *crítica* del acceso y control inequitativo de los recursos naturales que

caracterizan los modelos de desarrollo actuales, buscando el uso del territorio de manera más justa entre las personas, las regiones y los países, propendiendo a una *habitabilidad* adecuada para todos.

En relación a estos tres nuevos enfoques Martija (2009) propone una nueva triada de objetivos básicos de la sustentabilidad (figur 3), que le permitirá adaptarse y evolucionar tecnológicamente como vayan cambiando las necesidades del ser humano, integrando las diversas definiciones en las dimensiones territorial, social y económica –abarcando a otras tales como lo cultural, lo político, lo artístico, etc. en las tres ya enunciadas– en un contexto determinado, entendiendo que:



Figura 3. Objetivos básicos de la sustentabilidad.

- En términos territoriales, lo que se busca es la habitabilidad del espacio natural para el desarrollo pleno de las actividades humanas, en relación con los recursos y medios tecnológicos disponibles.
- En términos sociales, la búsqueda se encamina a proveer a las personas de los bienes y servicios que la sociedad ha logrado generar, procurando que su

acceso a ellos sea con la mayor equidad posible, integrando a las personas como una sociedad que interactúa y se nutre de la variedad generada en la individualidad.

- En términos económicos, se busca el mejor uso de los recursos escasos, procurando el máximo de eficiencia en la relación entre el consumo de recursos y los logros o beneficios obtenidos.

Sin embargo, en función de las condiciones sociales relacionadas con estos tres objetivos, la duda gira en torno a cuánto equilibrio ambiental o eficiencia económica están dispuestos a renunciar con el propósito de lograr ciertos objetivos sociales y viceversa. Los términos sociales y los económicos son dos sistemas de relaciones comprometidas dinámicas, las cuales cambian con el tiempo, acentuando su conflictividad en el corto plazo; sin embargo, en algún punto se estabiliza, de tal manera que se logra el punto de equilibrio entre ellos, lo cual caracterizaría las tecnologías arquitectónicas hacia un desarrollo sustentable (Matija, 2009).

Por lo anterior, es importante resaltar el progreso tecnológico en pos de la sustentabilidad y el papel que representa el cambio tecnológico ambiental y el análisis de los factores que intervienen en la industria como generadora, usuaria y adoptante de este cambio, así como un factor determinante dentro del debate de la sustentabilidad en la vivienda.

La preocupación medioambiental surge a partir de la percepción de pérdida de un equilibrio entre el crecimiento y el medio donde se produce. Ese equilibrio puede darse en distintos niveles de cantidad de cada componente, por lo que se puede afirmar que es un concepto de tipo cultural, dinámico y referido a grupos de individuos en un contexto determinado. Visto así, la sustentabilidad y calidad de vida son conceptos que se aproximan, refiriéndose más bien el primero a un grupo o colectivo humano y el segundo a cada individuo en particular. Entendiendo que la calidad de vida la percibe cada persona, mientras que la sustentabilidad la percibe la sociedad en su conjunto.

Siguiendo este razonamiento, se puede afirmar que la sustentabilidad es una variable latente o constructo, en cuanto se trata de un concepto que puede ser descrito en términos conceptuales pero que no puede ser medido directamente o medida sin error, por lo que se propone un modelo conceptual que

permita ordenar y relacionar los aspectos que pareciera necesario considerar, no solo desde el punto de vista del total de la sociedad sino también desde los diversos contenidos que confluyen a generarla en un entorno determinado.

No obstante, dentro del ámbito de la construcción y los círculos de la arquitectura, el desarrollo sustentable enlaza los dos grandes ejes del movimiento moderno como lo son la *innovación tecnológica* y la *provisión social*, siendo que cualquier novedad en la tecnología requiere de una justificación social para que el proyecto resuelva los problemas humanos y cubra las necesidades básicas de éstos.

En favor de una nueva perspectiva, en la que la sustentabilidad y la arquitectura afronten la relación de recursos y fuentes de energía o futuros materiales de construcción, Edwards (2008) propone sustituir el enfoque económico por el tecnológico como variante (figura 4). Entendiendo que el enfoque económico depende fundamentalmente de recursos financieros y de un principio político, los cuales requieren de la explotación de recursos con base en un conocimiento científico y de diseño, esenciales para el desarrollo desde el punto de vista arquitectónico.

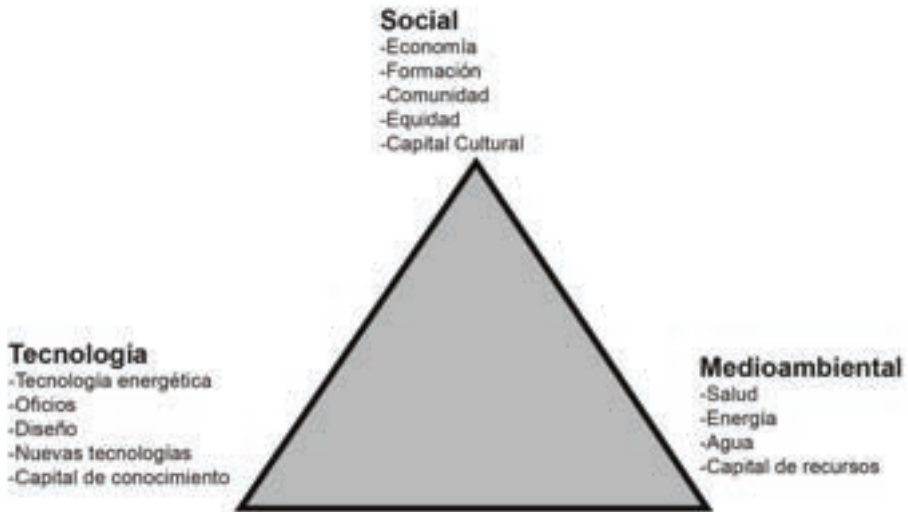


Figura 4. Perspectivas sobre el desarrollo sustentable en la arquitectura sustentable.

Para el estudio del cambio tecnológico en la vivienda social cuyo objetivo principal es la sustentabilidad (principalmente la eficiencia energética), resulta claro considerar el razonamiento y la necesidad de adaptar la perspectiva del desarrollo sustentable a la actualidad, por lo que las herramientas disponibles permiten enfocar específicamente a la vivienda dentro del mar de la sustentabilidad.

Por lo tanto, la adaptación de los pilares del modelo de desarrollo sustentable en comparación con los establecidos en 1987 (social, ambiental y económico), que aunque se han vuelto base para cualquier desarrollo con principios sustentables, resultan ambiguos e insuficientes, por lo que se considera que tales enfoques no son los más adecuados para verificar la sustentabilidad de la vivienda, puesto que aunque sí son los correctos, la perspectiva de éstos puede variar, lo cual puede definir su éxito y, en este caso, desviar el enfoque principal de la investigación.

Sin embargo, es necesario reconocer el modelo al que está orientada la vivienda sustentable para así reconocer el enfoque predominante y las acciones, sistemas y artefactos tecnológicos que intervienen. Esto será posible definirlo a través de los objetivos de los sistemas tecnológicos de la vivienda sustentable.

Modelo de desarrollo sustentable en la vivienda social

La eficiencia energética, la habitabilidad física y el bienestar social (figura 5) permiten el enfoque tecnológico requerido para el análisis del cambio tecnológico de la vivienda.

Como ya se ha señalado, la eficiencia energética surge a través de tecnologías que cumplen cierto objetivo, en este caso el cumplimiento con ciertos parámetros de la sustentabilidad; sin embargo, como es sabido, la tecnología es la base de la estructura productiva del sistema económico capitalista, siendo consideradas las innovaciones tecnológicas un impulso para el desarrollo económico y el bienestar social. Desde el panorama arquitectónico, se considera la eficiencia energética como un indicador de calidad de vida, y podría decirse que es un equivalente a la eficiencia económica puesto que ésta determina so-



Figura 5. Modelo de desarrollo sustentable, vivienda y tecnología.

cialmente y ambientalmente el impulso económico de la vivienda. En México, el mayor problema de la vivienda social es de carácter económico, por lo que la eco-innovación y el grado de implementación de eco-tecnologías se resume en la capacidad de financiamiento, según Gómez, 2011.

Sin embargo, la eficiencia energética es determinada por el grado de habitabilidad, puesto que la habitabilidad de la vivienda es equiparable al desempeño ambiental de la misma, entendiendo que el desempeño energético dependerá del grado de satisfacción ambiental por parte del habitante.

Passive and low Energy Architecture (PLEA), el organismo internacional más reconocido de la arquitectura bioclimática, estableció «que el confort absoluto es un privilegio, no un derecho y que la comodidad es un estado relativo dependiente en gran medida de la libertad de elegir»; reconoce que la mecanización generalizada de la arquitectura ha dado lugar a una desconexión entre los ocupantes y el edificio; a partir de estas premisas se establece que es necesario lograr una mejor interacción entre los habitantes y la arquitectura para lograr reducciones significativas de energía y carbono. En consecuencia, que los edificios no consumen energía, los habitantes lo hacen por medio de la arquitectura (Gómez, 2011).

La habitabilidad física es el equilibrio entre el espacio natural y la actividad humana en relación con los recursos y medios tecnológicos disponibles. En

concreto, dentro del ámbito arquitectónico, es la correcta adaptación de la vivienda al hábitat natural, entendiendo que el territorio natural tiene el mismo valor y envergadura que la vivienda; hace referencia a un equilibrio dentro del cual no se pierde la calidad de vida. Al evaluar la habitabilidad física se habla del análisis de las cualidades físicas de la vivienda para lograr el correcto hábitat que interactue con el medio ambiente sin afectarlo, cumpliendo con el bienestar humano.

Al hacer referencia a la vivienda como edificio es posible determinar la importancia del diseño inteligente para lograr, a partir de técnicas y tecnologías, utilizar el clima como herramienta, la cual utiliza el factor tecnológico como elemento fundamental de las cualidades físicas de ésta. Olgyay (2006) tomó en cuenta tal premisa y la expuso bajo el nombre de arquitectura bioclimática, por lo tanto se puede considerar que, más que un equivalente, es una asociación de la habitabilidad física de la vivienda, la cual permite ligar los tres enfoques, puesto que el objetivo principal de la habitabilidad es satisfacer las necesidades del habitante para lograr su bienestar. La vivienda es la interface que vincula al habitante con el contexto, la cual, bajo el precepto de la arquitectura bioclimática, funciona como la interface entre el habitante y el clima.

Se deduce que las cualidades morfológicas y espaciales de la vivienda social permiten determinar el grado de satisfacción y calidad de vida del habitante, entendiendo así que la vivienda social sustentable es la vivienda que cumple con las necesidades de bienestar social y bienestar ambiental, las cuales dependen de las cualidades tecnológicas y el grado en que estas intervengan.

No obstante, el bienestar social es el valor que se le da al factor humano. Dentro del desarrollo sustentable, el término bienestar trasciende el ámbito estrictamente económica para extenderse a consideraciones sociales, tales como salud, educación, cohesión comunitaria, ambiente. Algunos teóricos explican que ésto se logra a través de los avances e innovaciones tecnológicas, las cuales son necesarias para cubrir las necesidades sociales.

Sin embargo, el bienestar social en el desarrollo sustentable está relacionado con la equidad de bienes y servicios en la sociedad, para las cuales éste depende mucho de los actores, organizaciones, políticas públicas, desarrolladores y gestores de la vivienda. Este enfoque depende tanto como determina a los dos anteriores, es decir, el bienestar social es el objetivo del desarrollo sustentable,

así como una finalidad de las innovaciones tecnológicas; éste depende de la eficiencia y la calidad del hábitat, no obstante determina el grado de interacción y desarrollo de éstas.

Por lo tanto, el panorama a considerar dentro del análisis de bienestar social será el de la vivienda social y sus cualidades físicas, entendiendo a la vivienda social como el espacio que cumple con las necesidades humanas de habitar, siendo ésta la responsable de proporcionar las condiciones del hábitat físico y sociocultural del ser humano. En el caso de México, sus características y desarrollo dependen del grado de eco-innovación de las acciones e intervenciones de las instancias gubernamentales, las normas y los desarrolladores.

La importancia de utilizar el concepto de vivienda social estriba en que tiene una aplicación directa en el diseño de modelos y prototipos de vivienda sustentable para la construcción masiva, ya que éstos permiten su fácil repetición y agilizan el tiempo y el proceso de producción. La mayor parte de los prototipos dirigidos a las clases socioeconómicas medias y bajas presentan compacidad en sus espacios y una estética sencilla en la fachada, lo cual es también una manera de economizar materiales y recursos de inversión, al tiempo que permiten mayor densidad como forma de optimizar el uso del suelo, con la finalidad de poder construir la mayor cantidad posible, tanto para abatir el déficit, como para atender la demanda creciente, lo cual puede presentar serios problemas para cumplir con ciertos parámetros de la sustentabilidad y las estrategias eco-tecnológicas que intervienen.

Resultados

Clima, vivienda y tecnología: factores de eco-innovación 4.0.

La situación climática y ambiental que se vive a nivel mundial ha obligado a los países a realizar acciones para lograr enfrentar el cambio climático y la destrucción del medio ambiente mediante el desarrollo sustentable. De esta forma se ha respaldado el uso e implementación de tecnologías innovadoras que no pongan en peligro los recursos naturales y permitan el uso y manejo de las riquezas del planeta sin agotarlas.

Hasta hoy, no se ha podido dar plena respuesta a estas demandas y necesidades, teniendo como consecuencia ciudades que crecen sin control, terrenos mal utilizados, así como avenidas y calles congestionadas. Las edificaciones y las viviendas tienen un impacto importante en el medio ambiente y en la salud de las personas, por ello la calidad medioambiental asocia el confort de los seres humanos con el desarrollo sustentable de los recursos naturales.

Sin embargo, es difícil ignorar el cambio tecnológico por el que atraviesa la humanidad a causa de ésta y otras razones. Aunque es un proceso que forma parte de la naturaleza del hombre desde su aparición en el planeta, el cual pasó de ser un conocimiento empírico y popular del cual se desarrollaron técnicas y artefactos a un proceso de avance científico-tecnológico que tiene como objetivo la elevación de los estándares de vida de la población, así como la transformación de una serie de consideraciones relacionadas con su forma de vida y trabajo (SENA, 2007).

No obstante, Rip y Kemp (1997) señalan que la tecnología está implicada en el cambio climático global de varias formas: como fuente del problema, como una posible solución y como un instrumento de medición y análisis. Por lo que en el contexto internacional se han realizado acuerdos internacionales que buscan combatir la crisis ambiental a favor de la conservación ambiental y del desarrollo sustentable.

El cambio tecnológico que ha sufrido la humanidad desde sus inicios es un proceso continuo y evolutivo, en el cual el hombre se ha vuelto un ser dependiente de las tecnologías para su existencia, por lo que es claro que todos estos cambios han sobrepasado las expectativas y han causado complicaciones no solo ambientales, sino también, culturales, sociales y económicas, tanto en sus procesos como en su desarrollo.

Tales transformaciones han influido en la vivienda y han forzado la adaptación a nuevas necesidades y hacia el desarrollo sustentable. Es imprescindible señalar la importancia de generar cambios radicales en los modelos de producción y consumo actuales. De esta manera, sería posible mejorar las condiciones de bienestar de la población, mediante la mitigación y disminución de las presiones ambientales provenientes de los procesos de producción industrial, por lo que un adecuado proceso de cambio tecnológico puede jugar un papel relevante en este proceso de transición.

El cambio tecnológico de la vivienda a través de los siglos ha sido visible. Han aparecido nuevos enfoques, conceptos, corrientes y las constantes tendencias arquitectónicas con sus claras características tecnológicas y estéticas dentro del constante cambio social, climático y científico. Sin embargo, la cuestión tecnológica de la vivienda ha sido la misma desde tiempos pasados: el constante desafío climático y humano, en el que la concepción tecnológica de la vivienda ha cambiado, pero no su principio. Tal es el caso de la vivienda que no cumple con las necesidades ambientales de confort y éstas son sustituidas por sistemas mecánicos auxiliares.

Se podría considerar esta acción como un proceso inicial para cualquier innovación tecnológica; un problema que resolver y una necesidad que cumplir. Para Olgyay (2006), el proceso lógico sería trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas, aprovechando sus potencialidades para crear unas condiciones de vida adecuadas. Aquellas estructuras que, en un entorno determinado, reducen tensiones innecesarias aprovechando todos los recursos naturales que favorecen el confort humano, pueden catalogarse como climáticamente equilibradas. Asegura que la estabilidad perfecta rara vez puede alcanzarse, solamente es posible bajo circunstancias ambientales excepcionales. Pero puede conseguirse una casa muy confortable y con bajo coste de mantenimiento reduciendo la necesidad de acondicionamiento mecánico.

No obstante, los constantes cambios climáticos, tanto mundiales como locales, resultan significativos, por lo que la vivienda como hábitat debe tener la flexibilidad tecnológica necesaria para adaptarse a ellos. El principio tecnológico de cualquier proyecto arquitectónico habitacional estrictamente sustentable debe fundamentarse, sin excepción, en dos elementos: el habitante y el clima.

Sin embargo, las características tecnológicas de la vivienda y sus cualidades tanto de habitabilidad como de las estrategias de diseño bioclimático –según suelen reducirse al cumplimiento de estándares mínimos de construcción, seguimiento de normas y de condiciones medioambientales globales–, muestran cierta rigidez a la adaptación a los posibles cambios futuros. En síntesis, la vivienda social sustentable promovida por las políticas públicas en México puede ser comprendida como el resultado constructivo de normativas basadas en dimensiones mínimas para habitar y criterios bioclimáticos recomendados por las mismas instancias (Gómez, 2011).

Vivienda y tecnología: la vivienda como un sistema técnico

El problema de la vivienda en todos los países, y sobre todo en los del tercer mundo, presenta múltiples aristas, y en pos de la modernidad y la postmodernidad se han alterado conceptos, para los cuales la vivienda pasa de ser una expresión popular y empírica a un sistema tecnológico apropiado o sustentable.

Por otra parte, la tecnología es la «técnica a la que se ha incorporado un cuerpo de conocimientos de base científico; ésta permite el diseño y producción de artefactos tecnológicos asociados a determinadas técnicas productivas características de la industria» (Rincón, 2006). En ella intervienen tres enfoques que permiten una aproximación al análisis de la concepción tecnológica de la arquitectura: el instrumental, el cognitivo y el sistémico.

El enfoque instrumental se vincula con los artefactos, objetos, instrumentos o productos en los cuales intervienen mecanismos que pueden ser empleados en el desarrollo de tecnologías y las propiedades tanto funcionales como económicas, dentro de las cuales, a su vez, intervienen los procesos de innovación tecnológica y su difusión (Rincón, 2006). Según Basalla (1988), estos artefactos se mantienen o evolucionan a la par del conocimiento que intervino para su desarrollo.

Entre tanto, las tecnologías desde el enfoque cognitivo se condicionan a través de técnicas empíricas o formas de conocimiento de carácter práctico. La técnica en general puede definirse como «un conjunto de habilidades y conocimientos que sirven para resolver problemas prácticos» o como lo señala Mokyr (1990), un conocimiento práctico o *know-how*. Dentro del cual intervienen las habilidades y destrezas de las personas.

En el carácter arquitectónico, la vivienda vernácula es una clara portadora del saber hacer *-know-how-*, siendo ésta el resultado del saber popular y la cultura, como expresión de la técnica y el conocimiento empírico. Mas sin embargo, en la actualidad el conjunto de conocimientos tienen una base científica, que logra describir, explicar, diseñar y aplicar soluciones técnicas a problemas prácticos, de forma sistemática y racional (Quintanilla, 2002). En este sentido, nos podemos referir a la arquitectura como el resultado de la incorporación de conocimientos de base científica, los cuales permitieron el diseño y producción

de artefactos tecnológicos con el objetivo de cubrir una necesidad humana, o como lo señala Rincón (2009), «la producción de la arquitectura académica y profesional como ciencia aplicada, es tecnología». Mas sin embargo, ésta es cambiante y por lo tanto evolutiva, puesto que se adapta y transforma según las condiciones del entorno natural.

No obstante, en la construcción del conocimiento intervienen fuerzas sociales y culturales, las cuales determinan el cambio tecnológico, por lo que el tercer enfoque es el sistémico, que considera a lo que llaman varios autores como «sistemas tecnológicos», los cuales, según Hill (Arteaga, 1995), son un producto cultural, siendo estos conformados por tres componentes:

- Los artefactos físicos y no físicos que se construyen o modifican.
- Las organizaciones que intervienen e influyen en los artefactos técnicos.
- Los mecanismos legislativos que modelan el sistema.

Siendo así, es el enfoque sistémico el que enlaza los otros dos enfoques, puesto que éste valora los artefactos físicos, el conocimiento que interviene y los aspectos sociales, así como las relaciones que operan entre ellos, los cuales pueden ser desordenados o complejos; ya que éstos pueden configurar la sociedad o ser configurados por ella, y a medida que aumenta su complejidad, tienden más a configurar la sociedad y a ser menos configurados por ella.

Los sistemas tecnológicos en la vivienda sustentable mexicana

En México se ha apostado por la creación de vivienda sustentable de forma masiva. El concepto de desarrollo sustentable ha sido abordado de manera seria, y México cuenta con apoyos para la inclusión de eco-tecnologías en la vivienda, así como el impulso a la creación de desarrollos urbanos sustentables y de programas de del gobierno federal que impulsan la correcta evolución del sector de vivienda en México (Sánchez, 2012). Dentro de estos programas se destacan los DUIS, Hipoteca Verde, Ésta es tu casa y el programa piloto de NAMA de vivienda sustentable.

Desarrollos urbanos integrales sustentables

Los DUIS son áreas de desarrollo integralmente planeadas que contribuyen al ordenamiento territorial de los estados y municipios, al tiempo que promueven un desarrollo urbano más ordenado, justo y sustentable. Motor de desarrollo, en el que la infraestructura, los equipamientos, los servicios y la vivienda contribuyen como un eje en el desarrollo regional (Sánchez, 2012).

Hipoteca Verde

Es un monto adicional de crédito otorgado al derechohabiente del Infonavit al adquirir una vivienda con eco-tecnologías, que le generan ahorros en el consumo de agua y energía, dándole la posibilidad de una mayor capacidad de pago (Semarnat, 2011).

Esta es tu casa

Subsidio operado por la Conavi para apoyar la adquisición o el mejoramiento de vivienda para aquellos usuarios que tienen un ingreso menor a 2.6 salarios mínimos y que sin el apoyo federal no les sería posible adquirir la vivienda. El subsidio se suma al crédito al que es acreedor el trabajador y que otorgan las instituciones financieras de vivienda en México (Infonavit, Fovissste, SHF, etc.) (Semarnat, 2011).

NAMA de vivienda sustentable

La Medidas de Mitigación Nacional Apropriadas (NAMA) son instrumentos financiados que buscan alcanzar la eficiencia energética de un país mediante el desarrollo de un plan sectorial con objetivos determinados. Éstas son impulsadas por la Conavi bajo los estándares de eficiencia energética basados en el «Desempeño Global de la Vivienda».

Mecanismos legislativos

Ante los impactos del cambio climático y el potencial que tiene México en contribuir a su mitigación por medio de la vivienda sustentable, el gobierno federal ha hecho importantes esfuerzos por incluir y destacar la importancia de la sustentabilidad ambiental en sus políticas públicas y acciones de vivienda.

Se debe tener en cuenta que a diferencia de los países desarrollados, donde la adopción de medidas sustentable en la vivienda suele comenzar por la parte alta de la pirámide socioeconómica, en México los esfuerzos realizados han sido implementados fundamentalmente para promover la adopción de medidas sustentables dentro de las viviendas de interés social. De esta manera, el marco normativo en materia de vivienda sustentable en México se concentra en tres legislaciones fundamentales, de promulgación relativamente reciente:

- Ley de vivienda.
- Ley para el aprovechamiento sustentable de la energía.
- Ley general de cambio climático.

Todo cambio tecnológico implica un compromiso

Un buen ejemplo es el caso de la vivienda, la cual a atravesado una serie de adaptaciones y transiciones para terminar siendo lo que es en la actualidad. La vivienda popular tradicional, que por siglos cumplió con su función hacia los que la habitaban, era sustentable, ya que estaba presente la integración con el medio y el consumo eficiente de materiales y energía, cuestiones ineludibles ligadas a la mera supervivencia humana. Los constructores comunmente eran los mismos habitantes, por lo que presentaban cierta sensibilidad ambiental y conexión con la misma vivienda, la cual terminaba siendo una expresión natural y cultural.

No obstante, la Revolución trajo consigo la aparición y el desarrollo de tecnologías innovadoras y favoreció el desarrollo de modelos económicos y de producción; en consecuencia, la migración desde las zonas rurales a las zonas urbanas desató la producción de un «prototipo construido» para resolver los

problemas de vivienda, dando pie a la creación y transformación de las grandes ciudades.

En términos urbanísticos, ésto supuso que las ciudades perdieran su tradicional equilibrio e integración con el entorno, y en términos arquitectónicos marcaron un fin a las limitaciones físicas y climáticas impuestas por la naturaleza en la construcción, cayendo a la dependencia de energía con base en combustibles fósiles, desencadenando así la insostenibilidad de nuestros asentamientos y el desarrollo de nuevos modos de vida (De Santiago, 2007).

En este panorama, es claro el compromiso que nos ha impuesto el cambio tecnológico: en pos de la modernidad se han dejado cosas atrás y es difícil darnos cuenta de ello. Son claras las ventajas de las nuevas tecnologías, pero las desventajas se tienden a apreciar muy tarde. En relación a la vivienda sustentable, resulta importante cuestionar los modelos que se desarrollan en la actualidad.

En México se han implementado varias acciones para ofrecer una opción de vivienda que enfrente al cambio climático. En la transición hacia ese cambio han intervenido cuantiosos procesos y actores, que dejaron en la balanza a la sociedad como laboratorio, por lo que que es necesario saber qué hacer y deshacer de cara a las nuevas tecnologías en la vivienda sustentable mexicana.

Conclusiones

Los beneficios de construir de forma sustentable son muchos, como el aumento de la plusvalía de los desarrollos habitacionales. Entre otros muchos beneficios se también se encuentran el ahorro de energía, ya que el usuario consume menos al habitar un hogar sustentable, viéndose beneficiado al reducirse el monto de sus recibos de gas, luz y agua. No obstante, tales beneficios representan un costo, puesto que el factor económico es uno de los principales limitantes que se presenta cuando una persona intenta acceder a una vivienda; ésto se vuelve cada día más complicado para una persona que percibe ingresos bajos.

El argumento central para el desarrollo de la vivienda sustentable mediante la vivienda social debe ser el de un vehículo que mejore la calidad de vida de los habitantes, así como la calidad ambiental; un vehículo para proteger los recur-

tos naturales. Sin embargo, parece ser inexistente el mecanismo que identifique y verifique cuáles son los pros y contras de ese supuesto, que permita fundamentar el cómo se logran mejorar las condiciones ambientales y de calidad de vida. Sin embargo, es evidente el impacto negativo que provoca la expansión de la mancha urbana y como la concentración de población en estas urbes por el nivel de poder, tanto económico como político, impide una organización y un crecimiento planeado, con los servicios adecuados para una buena calidad de vida de los habitantes y el beneficio ambiental, el cual no es el esperado.

Es claro que no se puede ser lo que se era antes, y cuando existe un cambio no se puede dar vuelta atrás. En el momento en el que se descubrió el fuego se abrieron horizontes para la raza humana; cuando se descubrió la rueda, las distancias ya no fueron una limitante, y cuando la vivienda pasó de ser una construcción artesanal a un prototipo construido, se produjo un cambio radical en la forma de habitarla y las técnicas del saber popular terminaron sepultadas bajo las nuevas tecnologías.

El impacto generado por la vivienda y su necesidad energética con base en combustibles fósiles es causante del 50 por ciento del calentamiento global. Esto significa que el consumo de energía se ha incrementado exponencialmente hasta alcanzar valores 120 veces mayores que los utilizados durante las primeras manifestaciones del hombre en el planeta. El daño provocado en varios casos es de carácter irreversible y por lo tanto demanda soluciones para la mitigación del impacto.

En México, dentro del contexto mundial, se han desarrollado acciones y políticas que impulsan un cambio relevante en el sector vivienda en materia de eficiencia energética, pero resulta necesario que se genere una transformación más ambiciosa en términos de sustentabilidad, que logre los cambios necesarios y enfrente la situación climática y ambiental; cambios definitivos que tendrán impactos con diferentes niveles de mitigación.

En una sociedad tecnológica, la dependencia a ésta se ha vuelto excesiva. Perdemos nuestra responsabilidad con el mundo y esperamos a que exista una tecnología o tecnologías que solucionen el problema. Tal es el caso de la vivienda sustentable, para la cual se han desarrollado e incorporado tecnologías en la vivienda para lograr enfrentar el cambio climático, siendo que en siglos pasados la vivienda se adaptaba al clima y al contexto, no generaba residuos, mostraba

eficiencia energética y cubría las necesidades de confort del habitante; sin embargo, con los cambios sociales y económicos que se han generado a base del sistema técnico-productivo global, dependemos de innovaciones tecnológicas para cumplir con las expectativas habitables y ambientales.

Referencias

- Arteaga, A., Medellín, E., y Santos, M. (1995). Dimensiones sociales del cambio tecnológico. *Revista de Ciencias Sociales*, 47, 9-22. En <https://revistas-colaboracion.juridicas.unam.mx/index.php/nueva.../article/.../14008>
- Basalla, G. (1991). *La evolución tecnológica*. Barcelona: Drakontos.
- Comisión Nacional de Vivienda (Conavi). (2010). *Código de edificación de vivienda*. México, 55-56.
- De Santiago, E. (2007). Habitar entre la tradición y la vanguardia. Arquitectura sostenible para el siglo XXI. *Revista Digital Universitaria*, 13: En <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num7/art53/int53.htm>
- Edwards, B. (2008). *Guía Básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Hughe, T. (1999). *The evolution of large technology systems in the social construction of technological systems*. Massachusetts: MIT.
- Gómez, A. y Gómez, G. (2011). *Habitabilidad, factor equiparable al desempeño ambiental para la sustentabilidad de la vivienda de interés social*. VI Cátedra Nacional de Arquitectura, Carlos Chafón Olmos. Universidad de Tamaulipas, 4.
- Hurtado, G. (2011). *La vivienda sustentable en México. Metodología y legislación*. México, DF: UNAM.
- Martija, M. (2009, octubre). Ciudades para un futuro más sostenible. Biblioteca DF+S. *Un modelo conceptual y método de medición de la sustentabilidad*, en <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n42/ac-mm.html>
- Méndez, F., y Velasco, P. (2013). *Estrategia nacional para la vivienda sustentable*. México: Embajada Británica en México.
- Barceló, M. (1994) Joel Mokyr. La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico. *Revista de Historia Industrial*, 5, 173-175, en <https://www.raco.cat./index.hp./Historiaindustrial/article/view/62355>

- Olgay, V. (2006). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Quintanilla, M. (1998). Técnica y cultura. *Teorema, Revista internacional de filosofía*, en <http://www.oei.es/historico/salactsi/teorema03.htm>
- Rincón, C. (2006). La vivienda: un sistema técnico sustentable. *Revista de Arquitectura El Cable*, 71-82, en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/elcable/article/view/1251>
- Rip, A., Kemp, R. P. M., y Kemp, R. (1998). Technological change. *Human choice and climate change*, vol. II, Resources and Technology, 327-399. Columbus: Battelle Press.
- Sánchez, J. (2012). *La vivienda social en México. Pasado, presente y futuro?* En <https://revistas.unam.mx/index.php/bitacora/article/download/56195/49809>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (Semarnat). (2011). *Vivienda sustentable en México. COP 17*. México: Gobierno Federal.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (2007). *Tecnología e innovación: Impacto en la competitividad*. En <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/cursos-de-capacitacion/politicanal/politica3.htm>

Contacto del autor

- DAVID CARLOS ÁVILA RAMÍREZ
Universidad de Guadalajara
davidavila_22@hotmail.com

La robótica en la construcción como medio para reducir costos en la vivienda de interés social en México

*Dulce Esmeralda García Ruiz
Catherine Arroyo Aguilar*

Introducción

En los últimos años, la industria de la construcción se ha visto afectada por diversos factores, como son los drásticos cambios en la tasa de inflación anual, el aumento de aranceles de exportación en los materiales de construcción, los aumentos internacionales de los diferentes materiales para construir y los aumentos en la mano de obra, todo ello sumado a la volatilidad de la economía en México.

Dichos fenómenos han llevado a que el precio de las viviendas de interés social sea cada vez más inestable e inaccesible para la población mexicana, lo cual ha generado un desequilibrio en la oferta y demanda, potencializando la situación de precariedad y la inaccesibilidad de la vivienda, así como al aumento de la demanda.

Asimismo, hoy en día existen adelantos tecnológicos derivados de la Cuarta revolución industrial, la cual ha llevado a replantear los procesos industriales y constructivos de todas las áreas productivas, como lo es la construcción a través del uso de la robótica; sin embargo, hasta el momento ha quedado sin resolver qué tan factible sería introducir la robótica en los sistemas constructivos para la vivienda de interés social en México; ¿será posible reducir los costos de construcción para este tipo de vivienda sin tener que sacrificar la calidad?; ¿sería viable el proceso constructivo para las viviendas de interés social?; ¿qué actividades sería posible realizar mediante estas nuevas tecnologías de manera que optimicen los tiempos y disminuyan los costos en la construcción?

Basados en el enfoque teórico de Schwab (2016), Córdova (2018) e Ismail (2014), y en casos prácticos como el del ETH (2019), y bajo un enfoque metodológico cuantitativo, en este estudio se realiza un esquema comparativo entre la construcción que conlleva mano de obra tradicional y la construcción por medio de robots, de manera que se identifican las potencialidades para introducir en esta industria las nuevas tecnologías derivadas de este fenómeno tecnológico, de modo que se visibilice para los constructores, los desarrolladores y el sector público la factibilidad de la construcción en la vivienda de interés social en México y los contextos de áreas afines.

Introducción

Hoy en día, múltiples son los cambios que se presentan en la forma como se desarrollan la sociedad, las ciudades y la industria, así como los modelos económicos derivados de la revolución tecnológica, lo que trae consigo la transformación de la humanidad; en tanto que esto afecta la manera como se trabaja, se construye y se convive –y hasta como se relaciona entre sí la población en diversas escalas, alcances y complejidades–, es necesario comprender y explorar cómo es la industria de la construcción en México.

La Cuarta revolución tecnológica contiene en sí posibilidades ilimitadas para almacenar información, procesarla y generar conocimiento como nunca antes en la historia; es así que Schwab (2016), menciona que

los cambios son históricos en términos de su magnitud, velocidad y alcance... a través de las nuevas formas de utilizar la tecnología con herramientas como la robótica, la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IoT), la impresión 3D, el *cloud computing*, por mencionar algunos... lo que implica que las nuevas formas de utilizar la tecnología propicien el cambio del comportamiento y los sistemas de producción y consumo...

Esto implica un trabajo en conjunto con todos los actores del mundo global, las empresas, las instituciones educativas, los gobiernos y la misma sociedad civil. Algunos organismos que se han dado ya a la tarea de estudiar sus po-

tencialidades, como lo es el ETH Zurich, que en 2019 diseñó la Casa DFAB, que es la primera casa habitable construida con robots; este ejemplo nos ayuda a comprender el futuro de la fabricación digital.

Si esta revolución tecnológica incluye cambios desde su concepción, determinada por la velocidad y la escalabilidad, de tal manera que se amplía y profundiza el impacto de los sistemas cambiando el «qué» y el «cómo» hacer las cosas, ¿cómo estos cambios podrían representar una oportunidad para el desarrollo de la construcción de la vivienda en México de manera exponencial, de tal forma que se solviente la demanda, se generen nuevas empresas y empleos, se reduzcan los costos y se vuelva una vivienda más asequible para la población más vulnerable de México?

Sumado a esto, en la actualidad, los aumentos de los costos han llevado a la población mexicana, que cuenta con un sueldo mínimo o menor a él, a pagar precios excesivos por una vivienda de interés social; según el CEESCO (Centro de Estudios Económicos de la Industria de la Construcción), los precios al productor para la industria de la construcción en su comparación anual (enero de 2017 a enero de 2018) registraron un crecimiento de 7.30 por ciento (CEESCO, 2018).

En la figura 1 se observan las variaciones anuales de los costos de producción de la vivienda, según un estudio del CEESCO.

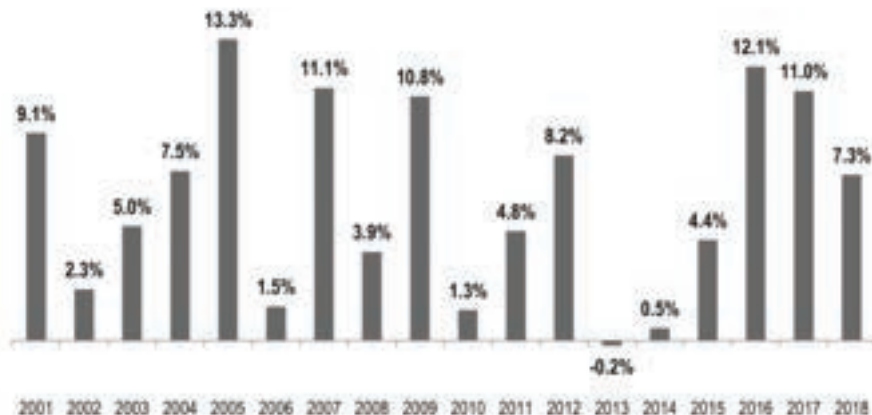


Figura 1. Variación porcentual anualizada (mes de referencia contra el mismo del año previo). Fuente: CEESCO, 2018.

Estas variaciones representan solo el aumento internacional del precio del acero, que es uno de los factores más importantes del incremento anual, ya que es uno de los materiales no renovables más utilizados en la construcción. Ese mismo estudio muestra el comportamiento del mercado de los materiales de construcción más utilizados, y se observa que el cable, el alambre y los conductores eléctricos, junto con la cal y grava, son los materiales más afectados. El estudio se enfocó en el mes de enero del 2018 (al presentar este mes un tipo de cambio estable), y reflejó aumentos en los costos de los materiales, que para el país son de un promedio del 7.30 por ciento, mientras que el incremento del costo de la construcción de vivienda familiar, según el mismo CEESCO, aumentó el 6.98 por ciento.

Hay al menos tres factores que encarecen la vivienda: el aumento en el precio de los materiales, el incremento de la renta de la maquinaria y los salarios de la mano de obra; los tres factores en conjunto aumentan el porcentaje de inflación anual, lo que golpea directamente los costos de construcción e incrementan los precios de las viviendas, afectando la economía de las familias de bajos recursos.

Para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), el sector de la vivienda es uno de los principales motores del mercado interno y una palanca de desarrollo nacional por la generación de empleo y el impulso a la productividad de diferentes sectores económicos (SHCP, 2013), entonces ¿por qué la vivienda sigue estando fuera del alcance de las personas de bajos recursos? Según el periódico *La Jornada*, basándose en la SHCP, una tercera parte de la población del país carece de acceso a una vivienda digna, y más de dos millones 250 mil personas viven en hacinamiento (Rodríguez, 2013); este número ha ido cambiando desde el 2013, y a pesar de la esfuerzos se sigue habiendo una gran cantidad de personas que no logran obtener una vivienda.

En tanto, ¿cómo desarrollar un estudio de costo-beneficio que permita conocer las áreas donde sería factible introducir el uso de la robótica en la Construcción 4.0 para la vivienda de interés social?

Por lo que el objetivo de esta investigación es desarrollar un estudio del costo-beneficio en el uso de la robótica en la Construcción 4.0 para la vivienda de interés social, de tal manera que se identifique el potencial de integración de la misma y se estipule si es posible lograr bajar los costos implementando la

robótica en la construcción a través de un esquema comparativo en el que se consideren las áreas de la construcción que podrían ser incluidas actualmente dentro del sistema constructivo. Asimismo, se realiza un comparativo de costo-beneficio entre la mano de obra tradicional y la robótica en la construcción para la vivienda de interés social.

Marco teórico y estado del arte

Vivienda de interés social

La vivienda es una obra humana concebida y realizada como producto de un sistema cultural; por ello, no debe ser considerada como un simple lugar, un espacio, ya que es un importante escenario de la vida cotidiana del ser humano (Guzman Ramírez, 2014); por otra parte, según Leandro, A., la vivienda, particularmente la de interés social, constituye uno de los ejes más importantes en la planificación urbana; una vivienda adecuadamente diseñada en función de las características, necesidades y expectativas de los usuarios, así como de su entorno y su relación con la ciudad, resulta esencial para el desarrollo psicológico y social, favorece la sustentabilidad urbana y contribuye a elevar el bienestar con un menor costo futuro, reduciendo a la vez el impacto ambiental (Pérez-Pérez, 2016). Se debe entender la importancia de la vivienda como núcleo familiar, como un espacio donde la gente se protege del exterior y solventa sus necesidades básicas para desarrollarse física y emocionalmente.

Canadevi menciona que la vivienda se ubica como la segunda industria más importante de México, tan solo detrás de la automotriz. Su impacto en 37 de las 42 ramas económicas la caracteriza por su gran capacidad impulsora de empuje y arrastre, que la hace única en el plano económico (20 minutos, 2018); de esto se deduce que construir una vivienda conlleva la realización de actividades simultáneas, las cuales generan un flujo de dinero en diferentes ramas profesionales, con un fin en común.

Al hablar de instituciones financieras se estipula que una regla empírica usual de ellas es que una familia no debe pagar mensualmente por la vivienda más de 25 o 30 por ciento de sus ingresos. Como resulta evidente, al variar los

ingresos y, por lo tanto, la capacidad de pago de la población, a medida que baja la escala de ingresos familiares, la familia puede aspirar a una vivienda de precio cada vez menor. Más aún, por debajo de un cierto nivel de ingresos, en el que lamentablemente se encuentran la mayoría de los habitantes, los costos de casi cualquier tipo de vivienda superan la capacidad de pago de las familias y, por lo tanto, requieren de subsidios para poder disfrutar de una vivienda adecuada (Barona, 2005).

Estandarización y construcción modular de la vivienda de interés social

Al comenzar una construcción es necesario tener un programa de obra y presupuesto que contemple todos los imprevistos que puedan surgir para concluirla sin inflar el presupuesto autorizado. Hacer un presupuesto no es una tarea sencilla, ya que se deben tener conocimientos de construcción, del mercado de materiales, de los salarios de los trabajadores, de las aportaciones, entre otras cosas. Las personas dedicadas a presupuestar deben tener muy en claro qué es lo que se va a construir y el tiempo en que se va a realizar, puesto que es la única forma de programar las compras de materiales en tiempo y forma.

Al hacer una reducción de operaciones, al comprar los materiales en tiempo y forma y al programar las actividades, se pueden reducir costos. El costo tiene un límite de reducción que va relacionado con la calidad; éste puede reducirse en el abaratamiento de la mano de obra, los materiales y las instalaciones, así como mediante la eliminación de ciertos detalles. Se debe tener un conocimiento amplio sobre la obra a realizar, estipular los ahorros que se pueden lograr al identificar los detalles prescindibles, sin perder de vista que una construcción hecha con materiales de buena calidad contribuye a la vida prolongada del inmueble.

Hoy en día, regularmente se usan dos sistemas constructivos, lo que hace más eficiente el proceso: uno es el de la estandarización y el otro el de la coordinación modular. La estandarización, en gran medida, hace posible el ahorro de materiales al reducir su desperdicio. Es una herramienta útil para reducir los costos, puesto que permite hacer compras al mayoreo y los obreros mejoran sus

técnicas al hacer repetitiva una actividad, lo que ayuda a obtener un modelo que no necesita cambiar el diseño, los materiales ni las dimensiones. La producción en serie mediante el uso de máquinas permite obtener productos satisfactorios, de buena calidad.

Si se estandarizan los materiales que se utilizarán en la construcción de las viviendas de interés social, la modulación de la casa inicial ayudará a reducir el desperdicio y el costo del retiro del material innecesario. El módulo puede ser una unidad de medida, que debe considerarse seriamente en la construcción, ya que es un método excelente para el ahorro de materiales.

Sistemas constructivos

Según Carrillo (2015), los sistemas constructivos de muros más utilizados en la vivienda de interés social en Latinoamérica son el de mampostería confinada (tradicional), el de concreto reforzado convencionalmente con mallas electro-soldadas y el de concreto reforzado con fibras de acero. La presente investigación se enfoca en el de los muros de mampostería confinada (Chan Lopez, 2010). Esta técnica se ha usado a lo largo de los años; el tríptico de *Cartillas técnicas* lo explica, en términos generales, en diez sencillos pasos:

1. Revisar los niveles del terreno y las medidas de las paredes que se indican en el plano o el dibujo.
2. Excavar la zanja de los cimientos de al menos 60 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad.
3. Colocar las varillas de hierro y el concreto del cimiento.
4. Limpiar y lavar los cimientos para que al colocar la mezcla ésta quede sólida en el cimiento.
5. Colocar la cuerda de nivel para el bloque, verificando que quede a plomada y nivelada.
7. Se deben colocar columnas en el sentido contrario a la pared para darle más soporte.
8. Colocar estos refuerzos horizontales en las esquinas y los cruces. En cada hilada, una varilla lisa del número 2 en las esquinas y los cruces. En cada hilada, una varilla del número 3 a todo lo largo de la pared del muro.

9. Colocar la viga corona o de cierre en la parte superior. (*Cartillas técnicas*, 2008)

Todos los refuerzos de acero y consistencia del concreto deben venir referenciados en los planos estructurales que se utilicen para la construcción.

Vivienda producida por el sector público

Para el sector público es importante mantener el orden público, por ello, estos fondos se destinan a la población no asalariada o de pocos recursos, pues según se ve en la figura 2, son el sector más grande del país. Por ello existe la preocupación de invertir más en la rama de la construcción residencial de interés social.



Figura 2. Porcentaje de población y sus capacidades de pago. Fuente: Conavi, 2010.

La figura 3 es un esquema del pago de los financiamientos del gobierno a los diferentes sectores de producción de vivienda, y muestra que el de la parte comercial es mucho mayor que el que se da a quien autoconstruye; también muestra que los materiales son básicamente los mismos, y que donde nuevamente hay una discrepancia es en la mano de obra, puesto que construir una

casa del sector comercial toma menos tiempo, ya que a diferencia del social, se hace con el recurso suficiente para terminarla conforme al programa de obra, mientras que quien autoconstruye va invirtiendo dependiendo de su oportunidad de endeudamiento. A pesar de estas diferencias, la casa autoconstruida se termina de pagar en quince años, y la construida por el sector privado o comercial termina de pagarse 20 o 25 años después de su entrega.

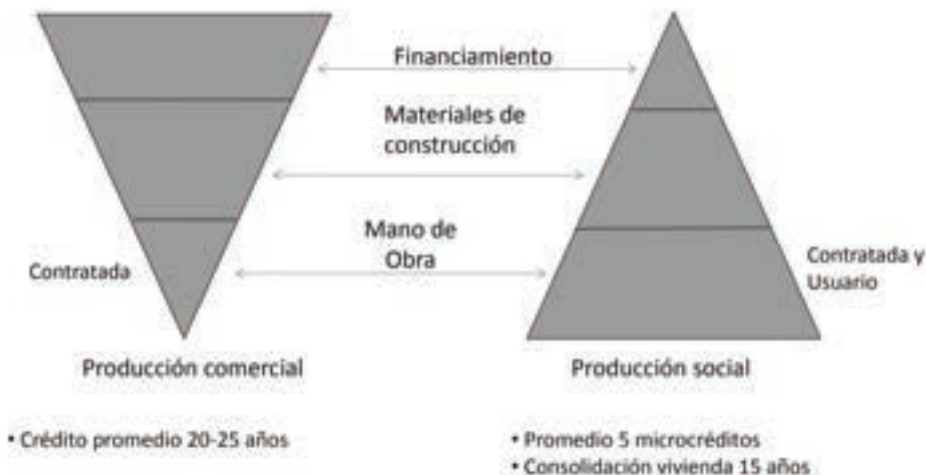


Figura 3. Producción comercial vs social. Fuente: Conavi, 2010.

Desajustes entre la oferta y la demanda: déficit y necesidades

Hoy en día, el mercado de la vivienda favorece a personas con un poder adquisitivo mucho mayor al salario mínimo, por lo que las empresas comienzan a mudarse a la construcción de vivienda residencial de nivel medio, haciendo a un lado las casas de interés social, lo que causa un desabasto de vivienda.

Existen tres modalidades de construcción de vivienda, que son dirigidos a mercados específicos. La producción comercial va dirigida a las poblaciones asalariadas y/o con posibilidades de obtener algún crédito; la producción institucional o de gobierno tiene como prioridad solventar la demanda de vivienda para personas de escasos recursos, y la producción de vivienda social es la

que realizan las personas que no cuentan con ningún tipo de crédito o recurso propio para levantar sus casas. Estas últimas se van construyendo poco a poco, y regularmente son de una menor calidad porque no son supervisadas o construidas por profesionales del ramo. En la figura 4 se muestra el porcentaje de construcción de cada una de las modalidades mencionadas.

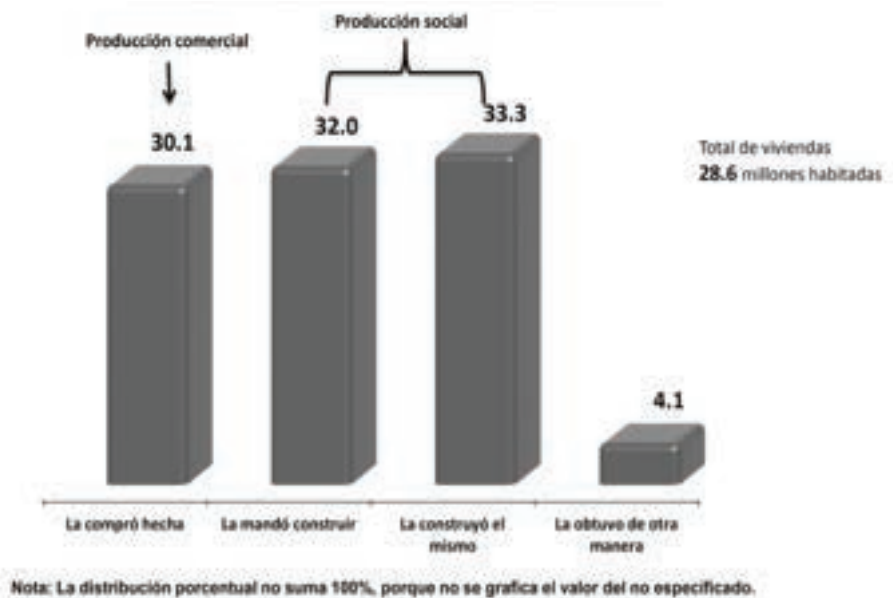


Figura 4. Producción de vivienda. Fuente: Conavi, 2010.

Costos y gastos en la vivienda

Los organismos públicos proporcionan planos de viviendas previamente diseñadas para ser construidas bajo la supervisión de los técnicos. Estos prototipos varían, aproximadamente, entre los 35 y los 90 metros cuadrados, con una o dos recámaras por vivienda, o el modelo mínimo típico, con sala-comedor, cocina y baño.

Las casas son concebidas como viviendas evolutivas, que, a partir de un

núcleo básico de materiales permanentes, ofrecen la posibilidad de ampliaciones posteriores que satisfagan las futuras necesidades de la familia. Aunque el organismo promotor ofrece gratuitamente el plano de la distribución de la vivienda y las supervisiones para realizar las ampliaciones, conforme pasa el tiempo los autoconstructores se resisten a realizarlas de acuerdo con los planos originales.

Robots en construcción

Esta definición abarca varias ramas, por lo que se extiende demasiado. Alonso (2018) define a los robots industriales como «dispositivos capaces de moverse de modo flexible, análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las ordenes humanas». La RIA lo define al robot como «un manipulador multifuncional responsable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados, con el fin de realizar tareas diversas». Se puede agregar que se trata de artefactos armados artificialmente para realizar actividades que ayudan al ser un humano a tener una vida más amena.

Tipos de robots CNC

La clasificación de los robots industriales de control numérico, en función de su capacidad de desplazamiento, es de tres clases:

- Fijos: son robots ubicados físicamente en un determinado sitio, ya sea en un taller de construcción o en una una fábrica; los hay lineales, cilíndricos, paralelos, articulados y SCARA.
- Móviles: son aquellos que cuentan con capacidad de movimiento, dotados con un sistema de locomoción aérea o terrestre.
- Híbridos: son aquellos de difícil clasificación, cuyas estructuras son una combinación de alguna de las otras, bien sea por conjunto o por yuxtaposición.

Utilización de robots en la construcción

Aunque hay un pequeño descontrol debido al factor humano, según Alonso (2018), el propósito de integrar los robots a la construcción es reemplazar a los trabajadores de la construcción ofreciendo ventajas como:

- Seguridad.
- Mayor calidad.
- Mejor productividad.

En relación a la seguridad en la construcción, existen robots que hacen labores en las áreas de la albañilería y la pavimentación que son repetitivas.

Una primera aproximación de la estrategia metodológica para el análisis

Se hizo una investigación del tipo cuantitativo, por lo cual, está basada en estudios hechos previamente por profesionales relacionados en el ramo de la robótica y la construcción.

La estrategia metodológica fue la siguiente: en un principio se recabaron los datos duros sobre los costos de construcción, mano de obra, rendimientos de mano de obra tradicional, presupuestos de cuatro robots constructores y precio de fabricación.

Se consultó a varios expertos del área de la ingeniería mecánica, como el Ing. Carlos Arroyo, empleado de Mitsubishi desde hace más de diez años, quienes recomendaron el contacto con empresas relacionadas con la robótica industrial. Sugirieron realizar una cotización por el de robots constructores en actividades sencillas y repetitivas en la construcción de viviendas, ya que el precio del robot puede variar dependiendo de la cantidad de tareas para las que fue programado. Con base en esto, se hizo un análisis del presupuesto de vivienda de interés social y se concluyó que algunas de las labores que abordaría esta investigación serían las siguientes:

- Doblado de estribo y corte de varillas.
- Pegado de muros de block o ladrillo.
- Acabado fino en muros.
- Pintura en muros.
- Identificación de universo clave.

Mediante correo electrónico, llamadas y consulta de páginas WEB, se hizo contacto con empresas relacionadas con el ramo de la robótica con el fin de obtener las fichas técnicas de los robots y el costo de los mismos. Estas son algunas de las empresas:

- Yaskawa México (Motoman)
- Casual Robots
- Emerson
- JS Mowei
- ABB Group
- Robot chine
- Schneider Electronic
- Simenes AG
- Fanuc
- Bosch
- Kuka
- Allen Bradley
- Omron
- Rockwell Automation
- Yokowa
- Rexroth
- NESIS Servicios de ingeniería y soluciones integrales.

Para comparar la mano de obra tradicional con el uso de robots en la construcción, se realizó un estudio, basado en las tablas de la CMIC, en el que se identificaron los costos de todo aquello que debe pagarse para obtener el producto deseado o, en este caso, para calcular el salario real del personal relacionado.

Para conocer el costo de las actividades es necesario conocer los días efecti-

vos de trabajo de un obrero; basados en los datos de la CMIC, se utilizó el Factor de Salario Real o FASAR (se uso la versión 1.0, de febrero de 2019).

Los datos para llegar al costo real del obrero son:

- Área geográfica. En la zona fronteriza el monto del pago de impuestos es diferente al del resto del país.
- Fecha de análisis: 7 de agosto del 2019.
- UMA (Unidad de Medida y Actualización): 84.49 pesos.
- Porcentaje del riesgo de trabajo: 7.58875 (se tomó el porcentaje con el que inicia una empresa).
- Límite sup. demás ramas IMSS: 25 salarios mínimos de la Cd. de México.
- Salario mínimo del área geográfica: \$176.72.
- Impuesto sobre la nómina del área geográfica: 1.80 por ciento.
- Cuota fija de enfermedad y maternidad: 20.40 por ciento.
- Cuota variable enfermedad y maternidad: 1.10 por ciento.
- Límite sup. invalidez, vida y cesantía: 25 salarios mínimos de la Ciudad de México.
- Limite Infonavit: 25 salarios mínimos de la Ciudad de México
- Días reales de trabajo.

Asimismo, se tomaron en cuenta las leyes y artículo legales pertinentes a este ámbito, como lo es la Ley Federal del Trabajo, destacando el artículo 69, que indica que por cada seis días de trabajo el trabajador disfrutará de un día de descanso; para este cálculo, se consideró el domingo como día de descanso.

Además, se hizo un análisis para determinar los datos básicos del factor del salario real que conlleva la Ley del Seguro Social, el cual está basado en las tablas para calcular el costo hora-máquina en mano de obra automatizada, según la CMIC (2019). Se elaboró una tabla en la que se utilizó el criterio usado para obtener el costo por hora de una máquina de uso pesado, según los Precios Unitarios (PU), en la cual se considera como mantenimiento un costo relacionado al de las maquinarias utilizadas en obra (ver la tabla 17).

En la tabla 1 se hace una sumatoria de los productos que se contemplaron para llegar al costo del mantenimiento de la maquinaria por evento, tomando los precios que se presentan sin impuesto.

Tabla 1. Análisis de mantenimiento. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO	
MATERIALES PARA MANTENIMIENTO (PRECIOS 5/IVA)	
COSTO DE ACEITE POR LITRO	\$ 101.67
FILTROS	\$ 960.00
PARTES MÓVILES DE LA MAQUINARIA (ALREDEDOR DE 12 PZA)	\$ 3,420.00
PERDIDA POR PARO DE MAQUINARIA (1/4 DIA)	\$ 6,757.50
MANO DE OBRA REAL (1/4 DIA)	\$ 128.71
COSTO DE UN MANTENIMIENTO DE LA MAQUINA	
30 LITROS DE ACEITE POR CADA MANTENIMIENTO	\$ 3,050.10
1 FILTRO DE ACEITE	\$ 960.00
PARTES MÓVILES DE LA MAQUINARIA (ALREDEDOR DE 12 PZA)	\$ 3,420.00
PERDIDA POR PARO DE MAQUINARIA (1/4 DIA)	\$ 6,757.50
MANO DE OBRA REAL (1/4 DIA)	\$ 128.71
TOTAL	\$14,316.31

Asimismo, en la tabla 2, se hace un concentrado de la información necesaria para calcular el costo por hora de la maquinaria.

Descripción de los trabajos para la mano de obra automatizada a base de robots

Se tomaron en cuenta cuatro tipos de robots, que harían las labores más repetitivas:

- Muros de block. El pegado de block para una casa de interés social consiste en nivelar y alinear la base de desplante, para después comenzar a pegar los bloques; cada uno de ellos se debe de humedecer colocar concreto $F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ en las juntas, con una separación de $3/8$ de pulgada, y acomodarlos en forma de sogas.
- Emplaste en muros. El acabado en muros se hace con una capa de 5 milímetros o más, dependiendo del plomeado de los muros; sobre los muros de bloques, para obtener un acabado fino, el mortero se coloca sobre la espátula, la cual se presiona firmemente sobre la pared y se esparce de abajo hacia arriba procurando hacer el acomodo en un solo movimiento, el cual se vuelve a repetir tratando de que la capa de material sea lo más uniforme posible.

Tabla 2. Costo hora-máquina. Fuente: elaboración con base en CMIC, 2019.

DATOS GENERALES:		VIDA DE LA MAQUINA:	
CÓDIGO:	EJEMPLO1	VIDA ÚTIL DE AÑOS (Vua):	10.00
MAQUINA:	EJEMPLO1	HORAS POR AÑO (hr) (Hua):	2.320.00
MODELO:	EJEMPLO1	VIDA ECONÓMICA EN HORAS (hr) (Vve):	\$ 276.16
COSTOS:		GASTO DE LA MAQUINA:	
PRECIO DE ADQUISICIÓN:	\$ 1.000.000.00	POTENCIA NOMINAL (HP)	20.00
PRECIO ESTIMADO DE MANTENIMIENTO MENSUAL (Pm):	\$ 14.316.31	COSTO COMBUSTIBLE(Pc):	16.30
EQUIPO ADICIONAL:	\$ -	COSTO LUBRICANTE(Pa): ACEITE	\$ 191.67
VIDA ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO POR HORA (Vr) (hr):	\$ 74.05	FACTOR DE OPERACIÓN (Fo):	75.00%
PRECIO PZAS ESPECIALES: (Pv):	\$ -	POTENCIA DE OPERACIÓN HP (Po):	15
VIDA ECONÓMICA PZAS ESPEC. (hr)(Vv):	\$ -	COEFICIENTE COMBUSTIBLE(Fc):	0.2
VALOR DE LA MAQUINA (Vv):	\$ 985.683.70	FACTOR DE RENDIMIENTO (Fv):	100.00%
VALOR DE RESCATE 35% (Vr):	\$ 344.959.29		
TASA DE INTERES (i):	16.00%		
PRIMA DE SEGUROS (s):	2.00%		
SALARIOS:			
SALARIO REAL DEL OPERADOR(Sr):	\$ 82.13		
SALARIO REAL PEON(Sr):	\$ 46.43		
SALARIO POR OPERACIÓN (So):	\$ 136.56		
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (He):	8		
TIEMPO ENTRE MANTENIMIENTOS EN HORAS (Ca):	180		
CARGOS FIJOS			
a)- DEPRECIACIÓN (D) = $(Vv - Vr) / Hua * Vva$	\$ 27.62		
b)- INVERSIÓN (In) = $(Vv + Vr) * Vza / Hua$	\$ 45.89		
c)- SEGUROS (Sm) = $(Vv + Vr) * S / Hua$	\$ 11.47		
d)- MANTENIMIENTO (M) = $Km * D$	\$ 74.05		
TOTAL CARGOS FIJOS:	\$ 159.02		
CONSUMOS			
e)- COMBUSTIBLE Co = $Fc * Po * Fv$	\$ 46.90		
TOTAL DE CONSUMOS:	\$ 46.90		
GASTOS DE OPERACIÓN			
OPERADOR DE ROBOT JRM:	\$ 92.13		
PEON:	\$ 46.43		
TOTAL DE OPERACIÓN:	\$ 138.56		
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA	\$ 346.48		

- Pintura. Antes de pintar muros y techos con compresor, primero es necesario aplicar una capa de sellador, y luego, una o dos capas de pintura. Se debe accionar la pistola a una distancia de 40 a 60 centímetros de separación del muro a pintar, la cual deberá pasar de un lado al otro, procurando no pasar dos veces por el mismo lugar; esta acción se deberá repetir hasta terminar el área de metros cuadrados requerido.

- Doblado de estribos. Para la hechura de estribos en refuerzos de acero longitudinal se debe doblar la varilla en la forma de un rectángulo con las medidas indicadas para la cimentación del proyecto. La varilla no debe exceder de un pulgada de diámetro, y se dobla haciendo palanca con un tubo que tiene el diámetro suficiente para introducir la varilla en él; también se puede utilizar un doblador manual para facilitar la tarea.

Costo hora-máquina

Otros elementos clave para realizar el estudio comparativo son el cálculo del costo hora-máquina (para lo cual se utiliza la información de la tabla 18) y la descripción de los trabajos de cada una de las actividades. Se presupuestaron cuatro máquinas diferentes, tomando en cuenta los rendimientos de mano de obra automatizada en otras industrias, y para los comparativos se tomó el presupuesto de la casa habitación que la empresa ISINOR usó para construir los planos 1 al 7 del proyecto que se muestra más adelante. En este caso, como no se contó con los generadores de obra y las tarjetas de precios unitarios completos, en los conceptos de emplastado, acero y pintura se utilizaran los precios unitarios de la CMIC.

Muros de block

Costo de hora-máquina

Para este ejercicio se consideró el presupuesto 1 de NESIS del robot pegador de bloques, que fue de 3'450,000 pesos, sin IVA, y una vida útil de diez años. El rendimiento se tomó de un prototipo llamado «SAM, el robot albañil», basado en la investigación de González, D., quien explica que fue creado por la empresa Construction Robotics. Este robot mampostero puede colocar entre 800 y 1,200 ladrillos en una jornada laboral (Valderrama, 2019).

Los datos se compilaron en la tabla 19 y los rendimientos fueron los siguientes:

Costo por una hora de trabajo de la maquinas (Chtm): \$706.55 M.N.

Rendimiento por jornada de 8 horas (Promedio)(R): 1000 ladrillos.

Bloque hueco de 12 cm x 20 cm x 40 cm en un m2 de construcción (Pm2):
12.5 piezas

Jornada de trabajo (J): 8 horas

Fórmula para tener el costo por metro cuadrado (CM2): $CM2 = Chtm / ((R/J)/Pm2)$

$$CM2 = \$706.55 / ((1000/8)/12.5) \quad CM2 = \$ 70.65 \text{ M.N.}$$

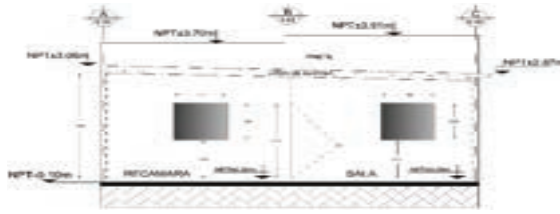
En la tabla 3 se observa que el costo por kilogramo es de 1.74, que, comparado con el precio de mano de obra tradicional, es 6.24 más barato.

.....
Tabla 3. Comparativo del robot empastador contra la mano de obra tradicional. Fuente: elaboración propia.

Comparativa				
M.O.	Cantidad Kg por jornal	Cantidad por hr	Costo M.O x Hr	Costo por M2
Robotica	3120	390	\$ 677.72	\$ 1.74
Tradicional	130.01	16.26	\$ 129.75	\$ 7.98
Diferencia				\$ (6.24)

Prototipo de vivienda de interés social

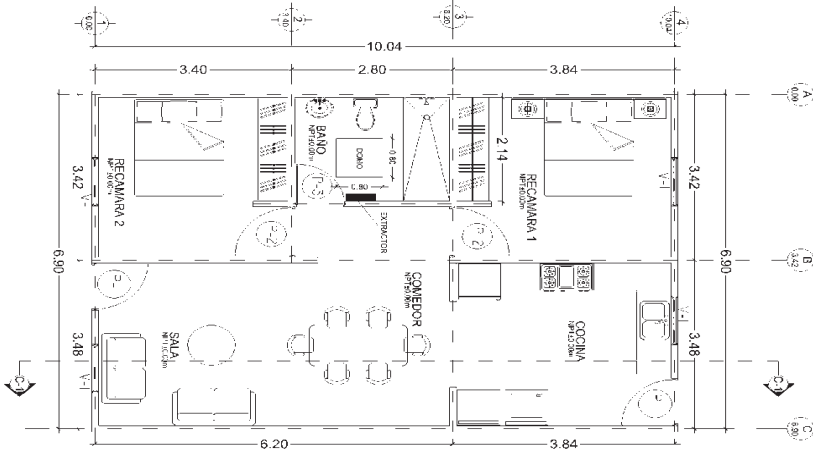
Para el estudio comparativo se tomó en cuenta el proyecto que se muestra a continuación, el cual fue proporcionado por ISINOR, empresa dedicada a las construcciones de vivienda para el sector público en las zonas de San Luis Río Colorado, Sonora y Mexicali, Baja California.



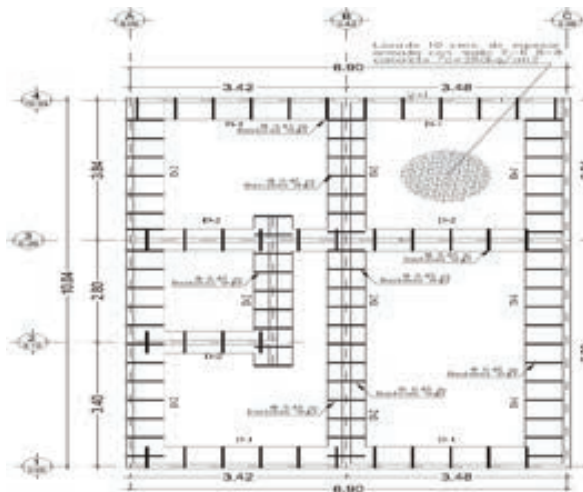
Plano 1. Fachada principal. Fuente: Isinor, 2018.



Plano 2. Corte Longitudinal. Fuente: Isinor, 2018.



Plano 3. Planta arquitectónica. Fuente: Isinor, 2018.



Plano 4. Planta de cimentación. Fuente: Isinor, 2018.



Plano 5. Planta de cimentación. Fuente: Isinor, 2018.



ELEVACION

DETALLE DE ANCLAJE DE
VARILLAS LONGITUDINALES



DETALLE DE MUROS
PERPENDICULARES



DENTELLON D-1



DENTELLON D-2



DETALLE DE LOSA DE AZOTEA



DETALLE DE UNION
DE MURO CON LOSA AZOTEA

Planos 6 y 7. Detalles de construcción. Fuente: Isinor, 2018.

Resultados

Al recabar la información anterior y plasmarla en un presupuesto real, afectando únicamente aquellos conceptos en los que la maquinaria de muestra puede brindar algún beneficio, se obtienen las carátulas 1 y 2 del presupuesto, que, respectivamente, se encuentran en los anexos 1 y 2. El ahorro es de 29,306.50 pesos, al utilizar la mano de obra automatizada.

Clase	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
	CASA TIPO A				
1	PRELIMINARES				\$709.30
2	ORIENTACION				\$56,136.45
3	ESTRUCTURA				\$61,362.18
4	ALBAÑILERIA				\$136,551.51
5	INSTALACION HIDRAULICA				\$20,205.30
6	INSTALACION SANITARIA				\$21,196.46
7	INSTALACION DE GAS				\$3,867.37
8	INSTALACION ELECTRICA				\$15,545.13
9	CARPINTERIA				\$37,402.50
10	ALUMENSO Y VENTANA				\$6,000.00
11	ACABADOS				\$37,684.00
12	MUEBLES Y ACCESORIOS				\$14,080.04
Total de Presupuesto					\$406,592.61

Caratula 1. Presupuesto de mano de obra tradicional. Fuente: elaboracion propia.

Clase	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total
	CASA PUEBLA B 303E				
1	PRELIMINARES				\$709.30
2	ORIENTACION				\$49,096.74
3	ESTRUCTURA				\$61,362.18
4	ALBAÑILERIA				\$113,432.87
5	INSTALACION HIDRAULICA				\$20,205.30
6	INSTALACION SANITARIA				\$21,196.46
7	INSTALACION DE GAS				\$3,867.37
8	INSTALACION ELECTRICA				\$15,545.13
9	CARPINTERIA				\$37,402.50
10	ALUMENSO Y VENTANA				\$6,000.00
11	ACABADOS				\$30,465.86
12	MUEBLES Y ACCESORIOS				\$14,080.04
Total de Presupuesto					\$377,676.11

Carátula 2. Presupuesto de mano de obra automatizada. Fuente: elaboracion propia.

Primeras conclusiones

La vivienda de interés social es un espacio que ayuda a las familias a resguardarse, dando las mejores posibilidades de desarrollo. Es necesario un entorno de espacios seguros para los usuarios, lo cual se toma como un indicador social, como un punto destacable de la economía del lugar donde se encuentra.

La carencia de vivienda de interés social seguirá creciendo año con año por una gran variedad de factores, como son el aumento de la población en las áreas urbanas, el incremento de los costos a causa de la inflación, las alzas del salario mínimo y las nuevas leyes. La subida de los costos de construcción se encuentra

fuera de las manos de los edificadores, por lo que el aumento del precio de las viviendas que ofertan las fraccionadoras es una de las primeras opciones para que la utilidad no se vea afectada y siga siendo un negocio lucrativo. Debido a esto, las personas que perciben un sueldo mínimo no pueden comprar una vivienda digna, ya que conseguir un préstamo bancario o ahorrar el dinero necesario está fuera de sus posibilidades, lo cual afecta directamente al mercado de los inmuebles construidos para este nivel socioeconómico.

Debido a que la población no cuenta con una vivienda junto a la mancha urbana y que ésta sigue desbordándose sin organización alguna, además de que la autoconstrucción en las periferias urbanas sigue sin los estudios de ingeniería y arquitectura necesarios para el desarrollo de vivienda segura, el tema seguirá siendo de gran importancia en Mexicali, Baja California, puesto que es una de las ciudades mexicanas con el mayor número de habitantes que no cuentan con una casa o que viven con problemas de hacinamiento.

La construcción es una de las actividades más importantes del país porque incide en 37 de las 42 ramas económicas; el trabajo que atrae la construcción de una sola vivienda mueve un sinnúmero de personas que trabajan directamente en la producción de materiales o indirectamente en puestos relacionados con otro tipo de actividades, por lo que al incluir el uso de la robótica en la construcción (a pesar de no verse su aplicación en la industria de la construcción mexicana en un futuro cercano, esto podría ser posible si se usa el robot correcto) se deberá tomar en cuenta el método de estandarización, una herramienta que va de la mano con los sistemas de modulación y regularización de materiales. Al hacer un uso estandarizado de los materiales necesarios en la construcción de viviendas de interés social (como base para todas las casas que se construirán), y comenzar con una primera casa modulada, se ayudará a reducir el desperdicio de materiales y el costo del retiro de los que fueron innecesarios.

Utilizar los robots constructores hace factible la optimización del tiempo porque no se tienen que incluir piezas especiales dentro de las líneas de materia prima de la maquinaria, por lo que el robot no tiene que parar realizando actividades continuas durante la jornada o módulo de trabajo en diversos tipos de clima.

La robótica puede llegar a ser una inversión que requiere de financiamiento, tanto para las pequeñas y como para las medianas constructoras, puesto que los

costos del robot, el software, y el mantenimiento, entre otros, hacen que estas máquinas tengan un costo de inversión inmediato, alto en comparación con la contratación de personal. Este es el factor más relevante a considerar cuando se piensa en hacer uso de la robótica en la construcción.

Para realizar las tarjetas de PU y conciliar una comparativa de ambos, se debe de tomar en cuenta el mantenimiento de la máquina, el combustible de ésta, los honorarios del técnico o personal que haga guardia del robot, el número de piezas que puede pegar en un determinado tiempo, el retorno de inversión (amortización de la máquina), los gastos de indirectos, así como como la utilidad que se obtendrá, para tener un costo real. Al igual que en la mano de obra, se debe tener en cuenta las leyes del IMSS y el Infonavit, puesto que son las que rigen los salarios de los empleados.

La inclusión de la robótica en la construcción no se dará en el año 2020, pero el comienzo de los estudio de prototipos de robots constructores lleva a la sociedad a caminar hacia un rumbo nuevo; se puede dar con los factores que hacen que la maquinaria se encuentre fuera de los rangos económicos para los retornos de la inversión de los constructores, como en el caso del uso de la maquinaria en el campo (sujeta a los diversos climas en que opera); así se podrán hacer mejoras en los equipos que hasta ahora no han sido previstas por los proveedores de robots.

Para el caso de la vivienda de interés social, es posible decir que los cuatro robots que se usaron para realizar este estudio se encuentran dentro de los rangos de inversión factible, por lo que no sería difícil incluirlos en un futuro próximo.

El estudio muestra los factores necesarios más importantes para realizar una comparativa en relación con los costos de mano de obra, lo que refleja un ahorro del 7.76 por ciento; aún así, se debe de realizar un estudio en el que se cuestione si el porcentaje que se obtiene realmente va a funcionar, al igual que el número de viviendas que se deberían generar para obtener el retorno de inversión y empezar a tener utilidades antes de que la maquinaria pierda su vida útil.

Bibliografía

- 20 minutos. (10 de 21 de 2018). 20 minutos. *Industria de vivienda, motor de la economía mexicana*, Canadevi, en <https://www.20minutos.com.mx/noticia/434863/0/industria-de-vivienda-motor-de-la-economia-mexicana-canadevi/>
- Barona, E. (2005). *Características de la vivienda de interés básica, social y economía urbana en Puebla, México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara
- Córdova, F. y Livier, V. (2018). *Avances y estudios de vivienda en México*. Guadalajara: Universidad de Guadalajara:
- Cartillas Técnicas. (2008). Cartillas Técnicas: reparaciones. *Muros de bloque*, en http://www.habitat.org/lc/lac/pdf/cartilla_muros.pdf
- CEESCO. (2018, enero). *Tendencia de los precios de los insumos para la industria de la construcción y su incidencia sobre los costos de construcción*. En <http://www.cmic.org.mx/cmhc/ceesco/2018/Incremento%20en%20los%20Precios%20de%20los%20Insumos%20Enero.pdf>
- Chan, D. (2010). *Principios de arquitectura sustentable y la vivienda de interés social. Caso: la vivienda de interés social en la ciudad de Mexicali, Baja California*. México. Mexicali : Universidad de Autonomía de Baja California.
- CMIC. (2019). *FASAR 2019*. México: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Conavi (2010). https://www.cmhc.org.mx/comisiones/sectoriales vivienda/2014/conavi/minutas_presentaciones/produccion_vivienda_asistida/Presentaci%C3%B3n%20%20PSVA%2029032014.pdf.
- Construcción, C. M. (2019). *Vivienda nacional de ingeniería de costos*. Ciudad de México: Centro Nacional de Ingeniería de Costos.
- Dávila, J. (2017, 29 de noviembre). *Los cinco problemas para tener casa en México*. En https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/4467550/los-5-problemas-para-tener-casa-propia-en-mexico
- El Economista*. (2017, 9 de febrero). En <https://www.economista.com.mx/finanzaspersonales/Inflacion-puede-inhibir-la-venta-y-renta-de-casas-20170209-0045.html>
- ETH, Zurich. (2019). *How to build a house*. En <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/02/opening-dfab-house.html>

- Fonhapo (2014, enero). En https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/30994/05_Vivienda_01_1_.pdf
- Forum, W. E. (2018). *The future of jobs. Report 2018*. Suiza: Committed to Improving The State of The World.
- Guzman, A. (2014, enero-junio). *Enfoques de análisis sobre el estudio de la vivienda popular en México*. Revista *Legado de Arquitectura y Diseño*, en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477947303007>
- Institute, M. G. (2017). *Jobs lost, jobs gained: workforce transitionos in a time of automation*. Nueva York: McKinsey & Company.
- Isinor, S. (2018). *Casa de interes social*. Mexicali.
- Joelia. (2017, 29 de noviembre). *Los cinco problemas para tener casa propia en México*. Homify, en https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/4467550/los-5-problemas-para-tener-casa-propia-en-mexico
- López, A. (2015). *Mecanismos de financiamiento colectivo a largo plazo a través del mercado de valores*. México: UNAM.
- López, M. (2008). *Sistema de indicadores económicos y sociales: la importancia del análisis integrado*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Machinery Equipment, H. J. (2019). *Jubadobladora. Estribadora automática*, en http://www.jubadobladora.com/product-maquina-estribadora-automatizada-19840.html?gclid=CjwKCAjwyqTqBRAyEiwA8K_4OzV33aG7AuFDuyo_i_Z5FfVctLmEdTCRf8dFXEggyQrInQ5pHtWrvDxoC7hwQAvD_BwE%20tipos%20de%20doblado
- Mexicanos., C. d. (1995). *Ley del Seguro Social*. Ciudad de México: Secretaría de Servicios Parlamentarios.
- Moia, J. (2014). *Cómo se construye una vivienda*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Nova, A. (2014). El impacto de la crisis en la relación entre vivienda y salud. Políticas de buenas prácticas para reducir las desigualdades en salud asociadas con las condiciones de vivienda. *Gaceta Sanitaria*, 44-50.
- Pérez, T. (2018, 10 de abril). Las personas sin vivienda digna tienen cuatro veces más problemas mentales. *El periódico*, en <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20180410/sin-casa-y-sin-salud-6747639>.
- Pérez-Pérez, A. (2016). El diseño de la vivienda de interés social. La satisfacción de las necesidades. *Revista de Arquitectura*, vol. 18, núm. 1, 67-75.

- Rodríguez, I. (2013, 1 de julio). Unos 36 millones de mexicanos carecen de vivienda digna: SHCP. *Economía*.
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Suiza y Colombia: Edición Kindle.
- SHCP. (2013). *El Gobierno Federal presenta el programa de garantía SHF a la construcción de vivienda*. México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- SHCP. (2015). *El impulso a la vivienda de las familias mexicanas*. México: Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- SHCP. (2017). *Del 26 al 30 de junio de 2017. Sector Inmobiliario, uno de los motores de desarrollo del país*. México: Secretaría Hipotecaria del Crédito Público.
- Subsecretaría de Planeación, Evaluación y Desarrollo Regional. (2018). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2018*. Baja California: Sedesol.
- Sullón., D. (2014). *Máquina revocadora automática*. Universidad de Loyola.
- Technologies, H. P. (2019). *Hubert Palfinger Technologies Legendary Innovation. HTC | portador automatizado de tratamiento*, en https://www.hubertpalfinger.com/marine/htc_hull_treatment_carrier/
- unión, C. d. (1972). *Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores*. Ciudad de México: Secretaría de Servicios Parlamentarios .
- Union, C. d. (2006, 27 de junio). Ley de vivienda. *La Ley de la Vivienda*. México.
- Valderrama, O. (2019). *Optimización del mortero de pega en la instalación de mampostería condinada*. Bogotá: Universidad La Gran Colombia.
- Zapata, M. (2013). *La política habitacional porteña bajo la lupa*. Buenos Aires: TeseoPress.

Construcción 4.0, explorando nuevas propuestas académicas de incidencia desde la universidad pública en México

Fernando Córdova Canela

Introducción

El presente trabajo expone una primera aproximación conceptual vinculada con el desarrollo de una nueva propuesta académica para el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara que parta de la incorporación del concepto Construcción 4.0 tanto en la adecuación como en el desarrollo de nuevos programas académicos y de una estructura organizacional en red que articule la infraestructura tecnológica y la investigación hacia la incidencia con un enfoque de producción social del hábitat.

Para tal fin, el capítulo se estructura en cuatro partes; la primera, que discute críticamente el concepto de Industria 4.0 situándolo en la construcción y ajuste continuo dada la complejidad y actualidad de su desarrollo; no obstante, se hace una propuesta que permita analizar de una forma más ordenada sus alcances y componentes alrededor de la propuesta de los denominados sistemas tecnológicos hecha por Quintanilla (2005), que a su vez dan lugar y articulan tecnologías habilitantes que definen a la Industria 4.0.

En segunda instancia se exponen una serie de experiencias nacionales e internacionales relevantes para el presente trabajo. Las internacionales identifican diferentes enfoques de abordaje respecto al desarrollo y consolidación de la Industria 4.0, ya sea desde una perspectiva centralizada o descentralizada, en tanto que las experiencias nacionales parten en principio de identificar aquellas iniciativas de Industria 4.0 en las que las instituciones de educación superior son actores significativos y tienen roles de liderazgo, reconociendo los

retos y la complejidad que implica el desarrollo de la Industria 4.0 en un país como México.

El tercer apartado describe de manera sintética el caso chileno como el más relevante en Latinoamérica en cuanto a trasladar la Industria 4.0 al sector de la construcción, para con esto desarrollar lo que podría llamarse la Construcción 4.0. En dicha experiencia se distinguen diferentes iniciativas que son coordinadas y/o financiadas desde el sector público y que tienen un aparente enfoque centralizado; no obstante la diversidad de las mismas y la ausencia de identificación de sistemas tecnológicos y tecnologías habilitantes estratégicas para el sector de la construcción, nos permiten observar el grado de articulación que tienen entre sí todas las iniciativas.

El apartado final concluye retomando lo discutido en los apartados anteriores y con esto desarrolla una propuesta académica relacionada con la Construcción 4.0 para el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara. En ese sentido se reconocen a la vivienda y la ciudad como un campo fértil para la implantación del concepto de producción personalizada que es compatible con la Industria 4.0, y subsidiariamente con la Construcción 4.0, pero cuya aplicación debe partir de un enfoque diferente a las exploradas desde la construcción teórica del concepto de Industria 4.0 y de sus experiencias de aplicación, en este caso desde una perspectiva de producción social del hábitat que sea articulada por una nueva propuesta de adecuación y desarrollo de programas académicos y por la generación de una estructura organizacional y de recursos tecnológicos en formato de red.

Industria 4.0, un concepto en construcción

La llamada Industria 4.0 (I4.0) representa una de las mayores propuestas de transformación de cultura tecnológica en nuestra generación; es en general considerada un concepto término que cubre lo que podría considerarse como un nuevo paradigma industrial que acoge un conjunto de tecnologías habilitantes tales como los sistemas ciber-físicos, internet de las cosas, robótica, *big data*, manufactura en la nube y realidad aumentada aplicadas a la producción industrial. La adopción de estas tecnologías permite el desarrollo de procesos

de manufactura inteligentes, que incluyan dispositivos, máquinas, módulos de producción y productos que puedan de manera independiente intercambiar información, detonar acciones y control entre ellas mismas, para con esto configurar lo que podría denominarse como un ambiente de manufactura inteligente (Pereira y Romero, 2017).

En Industria 4.0, por inteligente se entiende que es el conjunto de dispositivos autónomos e independientes que pueden comunicarse en tiempo real y cooperar en un ambiente con dispositivos similares, tomando decisiones e implantado acciones que están basadas en la información obtenida (Pereira y Romero, 2017) (Alcácer y Cruz-Machado, 2019), por lo que su alcance conceptual estaría referido a la capacidad de recabar información, procesarla, comunicarse y ejecutar acciones, todo esto en un entorno cerrado del sistema de artefactos interconectados.

Los principales rasgos que definen a la Industria 4.0 podrían ser las siguientes (Pereira y Romero, 2017):

- Procesos de manufactura inteligente que generen ambientes de manufactura inteligentes.
- Comunicación e intercambio de información entre dispositivos de manufactura y sus productos.
- Generación de mundos digitales y físicos a través de tecnología de sistemas ciber-físicos.

Sin embargo, el significado del concepto Industria 4.0 aún está en construcción. Rejikumar G., *et al.* (2019) aclaran que puede ser interpretado como el ensamblaje de componentes electrónicos; la mecanización virtual; la generación de fabricas inteligentes; la utilización de innovaciones existentes para mejorar la digitalización y capacidades de computo de los procesos productivos y en los negocios; la integración de sistemas ciber-físicos en diferentes procesos mediante el uso de internet de las cosas en los servicios y procesos de negocios; la integración vertical y horizontal de cadenas; la digitalización de la administración y sus componentes.

Pese a lo anterior, de manera general, la I4.0 puede asumirse como el conjunto de sistemas ciber-físicos de producción que se basan en la integración de

conocimiento y de datos heterogéneos, y que dicha integración se concreta en procesos interoperables de manufactura integrados, adaptados, optimizados y orientados al servicio, que son correlacionados mediante algoritmos, *big data* y altas tecnologías tales como el internet de las cosas, internet de servicios, automatización industrial, ciberseguridad, cómputo en la nube o robótica inteligente (Alcácer y Cruz-Machado, 2019).

A partir de la definición inicial se puede afirmar que la I4.0 consiste en una integración profunda, en la que cada elemento de manufactura intercambia de forma autónoma información, detona acciones y se controla independientemente. Se crean por tanto procesos inteligentes que se caracterizan por redes de producción pequeñas y descentralizadas que actúan sin intervención humana y controlan de manera autónoma sus operaciones en función de los cambios ambientales y de los requerimientos mismos del proceso (Alcácer y Cruz-Machado, 2019).

Con el fin de comprender un concepto en construcción de la I4.0, proponemos entenderlo desde los sistemas tecnológicos que lo componen; en ese sentido, un sistema tecnológico se definiría como

[un] sistema de acciones humanas intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos [...] relaciones y ámbitos de interrelación [...] para conseguir de forma eficiente un resultado valioso (Quintanilla, 2005).

por lo que en principio consideramos que la I4.0 estaría conformada por sistemas tecnológicos complementarios e integrados mutuamente, tales como fábricas inteligentes, productos inteligentes, modelos de negocios-formación de clientes 4.0, trabajo 4.0, y educación e investigación y desarrollo 4.0, tal y como se describen en la tabla 1.

La I4.0 tendría una serie de tecnologías habilitantes de los sistemas tecnológicos propuestos. Dichas tecnologías, en principio, se describen en la tabla 2. En general tales tecnologías plantean la eliminación de los límites entre los mundos físico y digital, promoviendo la integración dinámica de agentes humanos y máquinas, materiales, productos, procesos y sistemas de producción, de modo que esto permite alcanzar la digitalización de la producción y su automatización, así como a la vinculación de las instalaciones de manufactura con soluciones completas de la cadena de abastecimiento (Pereira y Romero, 2017).

Tabla 1. Propuesta de sistemas tecnológicos que conforman a la Industria 4.0. Adaptado de Pereira y Romero, 2017; Cornelis de Man y Strandhagen, 2017 y Kurt, 2019.

Sistema tecnológico	Definición	Rasgos usuales
Fábrica inteligente	Integra, digitaliza y hace uso de estructuras flexibles y soluciones inteligentes; el alcance del ambiente inteligente es el desarrollo de una cadena de valor conformada por procesos flexibles y adaptativos	Su nivel de intercomunicación le permite la integración funcional en tiempo real de recursos de manufactura tales como sensores, válvulas de solenoide, bandas transportadoras, maquinaria, robots, etc.
Productos inteligentes	Están integrados con la cadena de valor como componente activo del sistema, de forma que son capaces de monitorear sus propias etapas de producción mediante el almacenamiento de datos, al tiempo de requerir autónomamente recursos y control durante su proceso de producción.	<p>Son descritos como sistemas ciber-físicos debido a su capacidad para establecer conexiones entre el mundo físico y virtual, tienen como características claves:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de cómputo. • Comunicación e interacción con su ambiente. • Identificación de sí mismos. • Almacenamiento de datos de su proceso de producción. • Provisión de información subsecuente para su producción y mantenimiento. • Alto grado de autonomía que los habilita para percibir e interactuar de forma autónoma con su ambiente físico a lo largo de su ciclo de vida.
Modelos de negocios-formación de clientes 4.0	Los modelos de negocios implican la integración vertical y horizontal permitiendo la comunicación transversal de las cadenas de abastecimiento con la administración y los clientes, creando a su vez entornos colaborativos que aprovechan las capacidades de auto-organización y la integración y comunicación en tiempo real.	<p>Facilitan el desarrollo de valor agregado a productos y servicios.</p> <p>Apoyan en la gestión de la cadena de abastecimiento.</p> <p>Por su orientación hacia la personalización de bienes y servicios desarrollan la lealtad de los clientes. Minimizan los impactos financieros por la integración de sistemas y automatización de procesos administrativos.</p>
	La formación de clientes se asocia con el alto grado de personalización de los productos y la mejora de la experiencia de cliente.	<p>Por la flexibilidad y adaptabilidad de los procesos de producción y abastecimiento, en productos que aportan adicionalmente información relevante de sus parámetros de uso y desempeño a lo largo de su ciclo de vida se busca enriquecer la experiencia del cliente, enfatizando en la formación y fortalecimiento de la lealtad de los clientes tanto por la diversidad y variedad de productos disponibles y la percepción de cercanía de la compañía asociada con la información que facilita el producto a lo largo de su ciclo de vida.</p>

Tabla 1 (cont.). Propuesta de sistemas tecnológicos que conforman a la Industria 4.0. Adaptado de Pereira y Romero, 2017; Cornelis de Man y Strandhagen, 2017 y Kurt, 2019.

Sistema tecnológico	Definición	Rasgos usuales
Trabajo 4.0	Representa por un lado la interfaz humano-máquina y por otro lado la emergencia de un nuevo tipo de entorno laboral asociado a los sistemas tecnológicos I4.0.	La necesidad de trabajo no cualificado se reducirá. La necesidad de trabajo cualificado y de conocimiento digital se incrementará. Se crearán nuevos puestos de trabajos y profesiones. La importancia de estructuras flexibles con la capacidad de responder a los cambios rápidos en las condiciones laborales se incrementarán. Habrá transformaciones en la estructura social. La salud y seguridad ocupacional será apoyada mediante robots, tomándose medidas rigurosas contra los riesgos laborales. Ante los riesgos de ciberseguridad, los conceptos de capacitación profesional y aprendizaje continuo ganarán más importancia. Hombre y máquina trabajaran en conjunto en la unidad cooperativa robot-humano. Los sindicatos perderán su poder e importancia. Los horarios de trabajo serán reducidos mejorando las condiciones de trabajo y el balance vida privada-vida laboral. Los freelancers aumentarán por medio de las plataformas de (Kurt, 2019) trabajos virtuales en nube. Bajarán los salarios de los trabajos poco cualificados. Subirán los salarios de los trabajadores cualificados. Afectará profundamente las calificaciones e identidad del trabajador así como las relaciones empleador-empleado. La mecanización, digitalización y automatización de los procesos de producción inevitablemente aumentarán el desempleo.
Educación e Investigación y Desarrollo 4.0	Implica el entrenamiento y formación en codificación, software y robótica a lo largo del trayecto de formación escolar, desde la educación primaria hasta la educación superior. También se hace necesario el desarrollo de nuevas líneas y grupos de investigación, programas académicos y el desarrollo de infraestructura tecnológica que tenga un papel habilitante, así como exploratorio de los niveles deseados de digitalización, automatización y desarrollo de estructuras flexibles y adaptativas en una cultura tecnológica adecuada I4.0.	Por una parte, se desarrollarán áreas tales como robótica y automatización, y por otra, áreas relacionadas con las ciencias sociales, la antropología, los servicios, expertos en vida natural, los productos orgánicos, la educación, la agricultura, los negocios bursátiles y tecnológicos. Se enfatizará el desarrollo de los llamados trabajadores del conocimiento. Es probable que se aumenten las inequidades de género en tanto persista un mayor número de hombres en las ciencias computacionales, las matemáticas y las ingenierías.

Tabla 2. Tecnologías habilitantes de la I4.0. Adaptado de Pereira y Romero, 2017.

Tecnologías habilitantes I4.0	Principales características
Sistemas ciber-físicos (SCF)	<p>Permiten la interacción entre los ambientes físicos y virtuales, al integrar, coordinar y controlar procesos y operaciones, al tiempo de proveer y usar el acceso y procesamiento de datos.</p> <p>Pueden ser descritos como sistemas integrados que intercambian datos en una red que habilita la producción inteligente.</p> <p>Cuando un SCF está conectado al internet es frecuentemente conocido como internet de las cosas.</p> <p>La integración de un SCF con ambientes de manufactura permitirán integraciones verticales y horizontales de sistemas de TI, además de su interconexión con la cadena de abastecimiento.</p>
Internet industrial de las cosas	<p>Compuesto por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capas de detección, que percibe un estado de las «cosas» asociándolo con una identidad única con el fin de facilitar la integración. • Capas de redes es la capa de infraestructura de apoyo; transmite la información a través de redes alámbricas o inalámbricas desde la capa de detección a la capa de servicios. • Capas de de servicio, que hace uso de tecnología middleware a fin de apoyar servicios y aplicaciones requeridas por los usuarios o aplicaciones. • Capas de interface, que facilitan la interconexión y la gestión de las «cosas», desplegando información comprensible que permite la interacción del sistema con el usuario.
Internet de servicios	<p>Provee bases técnicas y de negocios para la creación de redes de negocios entre proveedores de servicios y clientes; este concepto persigue un enfoque similar al internet de las cosas pero aplicado a servicios en lugar de entidades físicas.</p> <p>Es descrito como un nuevo modelo de negocios, el cual permite la creación de valor mediante las relaciones entre cada parte interesada dentro de la cadena de valor tales como la organización, clientes, intermediarios, agregadores y proveedores.</p>
Cómputo en la nube	<p>Utilizado cuando la escalabilidad y capacidades de cómputo de una organización son flexibles y sus necesidades de infraestructura de tecnología de información se concentran en dispositivos móviles.</p> <p>Son de naturaleza pública (centros públicos de datos disponibles para el público), privada, híbridos (público-privado) y comunitarios (compartidos por varias organizaciones para cubrir una necesidad específica).</p> <p>Los modelos de servicio pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura como servicio, donde la los proveedores de servicios en la nube atienden a usuarios con recursos de computo y de infraestructuras virtuales. • Plataforma como servicio, donde los usuarios desarrollan y corren aplicaciones utilizando lenguajes de programación en infraestructuras de nube. • Software como servicio, donde las aplicaciones residen y corren en una infraestructura de nube. <p>La manufactura en nube tiene dos enfoques:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manufactura utilizando cómputo en la nube, que usa aplicaciones de manufactura basadas en internet o CAD en la nube. • Sistemas de manufactura en la nube, basado en la llamada Arquitectura orientada al Servicio en el ambiente de nube que provee de capacidades de manufactura interconectando dispositivos físicos y servicios en la nube.

Tabla 2 (cont.). Tecnologías habilitantes de la I4.0. Adaptado de Pereira y Romero, 2017.

Tecnologías habilitantes I4.0	Principales características
Big Data	<p>Lo constituyen la cantidad de datos estructurados, semiestructurados o desestructurados generados por la interconexión de objetos heterogéneos.</p> <p>El almacenamiento y recolección de datos caracterizan al <i>Big Data</i>, siendo su análisis crucial para la manufactura digital, permitiendo enfocar la producción personalizada en función de necesidades y mercados específicos.</p>
Simulación	<p>Se define como una imitación de la operación a lo largo del tiempo de un sistema o un proceso del mundo real, utilizando un sistema histórico artificial y sus observaciones; permite sacar conclusiones acerca de las características operativas de una representación de un sistema real.</p> <p>Los dominios de investigación de la simulación en la manufactura contemporánea incluyen: consumo energético e impacto ambiental; diseño, planeación y control de redes de manufactura; flujo de materiales; robótica; diseño de producto; demandas de clientes y desarrollo de mercados; ergonomía; proceso de diseño, planeación y verificación; planeación y control de sistemas; diseño de plantas de producción y planeación de la producción.</p>
Realidad aumentada	<p>El principio de la realidad aumentada es la combinación de dos escenarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realidad procesada digitalmente. • Objetos artificiales adicionados digitalmente que pueden ser 2D o 3D, incluyendo escenas interactivas en tiempo real. <p>Uno de los campos de mayor aplicación es el mantenimiento.</p>
Manufactura aditiva	<p>Es definida como un proceso para crear objetos 3D basados en la deposición de materiales capa por capa o gota por gota a través de un sistema controlado por equipo de computo.</p> <p>Posibilitan la creación de prototipos que permiten: independencia de los elementos de la cadena de valor; reducciones de tiempo de diseño y de los procesos de manufactura; generación de geometrías complejas, partes huecas y estructuras de celosía; maximización del uso de material; manufactura en demanda y gran escalabilidad.</p>
Robots autónomos	<p>Los robots pueden estar asociados a la Inteligencia Artificial o ser una forma de ella; con características de adaptabilidad y flexibilidad, pueden tener diferentes modalidades de uso, siendo dos las principales: los robots autónomos industriales que se usan en aplicaciones industriales peligrosas o en ambientes desestructurado; robots colaborativos o cobots, que son diseñados para interactuar directa y físicamente con humanos para promover la cooperación profunda entre ambos.</p>
Sistemas integrados horizontal, verticalmente y de punta a punta	<p>La integración horizontal es la integración inter-organizacional, y es la base de una colaboración más cercana de alto nivel entre diferentes compañías utilizando sistemas de información que enriquezcan el ciclo de vida del producto, creando un ecosistema interconectado dentro de una red de creación de valor compartido.</p> <p>La integración vertical digitaliza los procesos dentro de una sola organización, considerando todos los datos del proceso de manufactura para que estén disponibles en tiempo real.</p> <p>La integración punta a punta que los productos y soluciones de la compañía, incluyendo todas las funciones necesarias por ejemplo de gestión, ventas, logística y mantenimiento.</p>
Ciberseguridad	<p>Es una tecnología orientada a la protección, detección y respuesta a ataques que pongan en riesgo la seguridad informática del proceso de manufactura, por ejemplo a través de la modificación de diseños o de procesos de manufactura o la manipulación de datos del producto o del proceso.</p>

Por último, la integración dinámica tiene diferentes dimensiones dentro del concepto Industria 4.0 (Pereira y Romero, 2017), distinguiéndose las siguientes: integración horizontal mediante redes de valor, integrando diferentes sistemas, procesos, recursos y flujos de información de las tecnologías de información dentro una organización; integración vertical y sistemas de manufactura en red, integrando de las redes de valor a través de departamentos y niveles jerárquicos de una organización, es decir desde el desarrollo de productos a la manufactura, la logística y las ventas; integración digital punta-a-punta de ingeniería a lo largo de la cadena de valor; el objetivo de la integración de vertical y horizontal es entregar soluciones de punta-a-punta a lo largo de la cadena de valor, de forma que se facilite la personalización y se reduzcan los costos operativos.

Cada sistema tecnológico y sus tecnologías habilitantes tendrían diferentes grados y configuraciones de incidencia de acuerdo a las dimensiones de integración, lo que dota al concepto I4.0 de una excepcional complejidad. Sin embargo, dicha complejidad es intencionada y en ningún caso debería ser impuesta o replicada directamente en entornos diferentes, esto atendiendo a la idea de que los entornos técnicos no son solo técnicos, sino que tienen una dimensión social que les es íntima e inmediata (Mitcham, 2014), por lo que en última instancia son la sociedad y los grupos sociales quienes tendrían la última palabra respecto a su definición y configuración; en pocas palabras: no debería ser inevitable el determinismo tecnológico.

Industria 4.0 experiencias nacional e internacionales de implantación y desarrollo

En este apartado se expondrán las experiencias de desarrollo e implantación en materia de I4.0 en casos significativos a nivel internacional. Dichos casos se presentan en dos niveles: el primero internacional, describiendo de manera general como ha sido abordada la implantación en Estados Unidos de América y Alemania, y el segundo como se conceptualiza la implantación de I4.0 en el estado de Querétaro, y en un caso particular en educación superior en la Universidad Regiomontana; ambos casos se presentan como referencias internacionales y nacionales en su propio ámbito en cuanto a la implantación de la I4.0.

En Alemania, en 2005, el Centro Alemán de Inteligencia Artificial (DFKI, por sus siglas en alemán) genera la iniciativa Smart Factory KLTechnology (Casalet, 2018) que constituyó la primer fábrica independiente publico-privada europea de proveedores para la aplicación industrial de TIC, y que en su momento fue considerada como pionera en procesos de transferencia tecnológica relacionada con la 14.0, además de que exploró la manufactura personalizada a través de la plataforma *SmartFactor*, lo cual constituyó uno de sus temas centrales en la citada iniciativa (Casalet, 2018). A partir de la iniciativa del DFKI es que en 2006 se generó un esfuerzo significativo para involucrar a diferentes programas que posibilitaran la alianza entre industria y academia mediante la *Research Alliance* (Casalet, 2018), destacando la Academia de Ciencia e Ingeniería en el rol de asesor en materia de innovación para los tomadores de decisión y el Centro Alemán de Inteligencia Artificial como el experto en el área de las TIC (Casalet, 2018).

Como resultado de las experiencias anteriores, el gobierno alemán lanzó la Estrategia de alta tecnología 2020 (*HighTech Strategy 2020*) con el fin de consolidar el liderazgo en materia de manufactura digitalizada. Se identificó que los productos de interés serían el desarrollo de Fábricas Inteligentes y *IoT*S (Casalet, 2018), preparando al mismo tiempo a los actores y el entorno que operarían esta nueva tipología de unidad productiva; en este caso se dirigió a la participación de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y al financiamiento de los mecanismos e instrumentos de estandarización y regulación necesarios para su implantación (Casalet, 2018), resultando en 2012 la organización de un grupo de trabajo que incluyó a la firma Bosch y a la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería, que más tarde generó la agenda de la *Platform 14.0*, en la que se consolidó la construcción conceptual, la creación de estándares y la regulación (Casalet, 2018).

En ese sentido, quizá el caso alemán es la referencia de cómo una política pública ha llegado a articular una nueva conceptualización de los sistemas productivos basado en los sistemas tecnológicos y las tecnologías habilitantes de digitalización, en el que de manera centralizada se genera la alianza academia-empresas-gobierno, la cual permite el desarrollo de pilotos que dan lugar al diseño y desarrollo de un nuevo estándar y regulaciones que hacen un primer esfuerzo por definir lo que ahora conocemos como Industria 4.0. No obstante,

como todo esfuerzo humano, la definición de los alcances de lo que es conocido como I4.0 está aún en desarrollo, por lo que su diversidad, la forma de sus aplicaciones y las estrategias de desarrollo aún están en discusión.

Esto se ejemplifica en el caso de los Estados Unidos de América, donde el enfoque de diseminación de la I4.0 es descentralizado, regionalizado y flexible. El gobierno federal, a través del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (National Institute of Standards and Technology-NIST) ha generado la Alianza de Extensión de Manufactura (Manufacturing Extension Partnership-MEP) (MEP, 2020), que a su vez ha articulado una red nacional de 51 centros MEP que prestan asesoría y expertos a 375 nodos de servicio dirigidos a facilitar el acceso de los recursos de la I4.0 para las empresas manufactureras en el territorio de los Estados Unidos (MEP, 2020). La principal característica de ese enfoque es: la alianza publico-privada; el cofinanciamiento federal y estatal apoyado por el cobro de los servicios al sector privado; la orientación del programa hacia las necesidades del mercado; el apalancamiento mediante el consorciamiento de varios socios, que da la oportunidad de maximizar la oferta de servicios; la transferencia de tecnología y conocimiento a pequeños y medianos manufactureros (MEP, 2020).

Los centros MEP prestan servicios relacionados con la mejora de procesos, desarrollo de la fuerza de trabajo y de prácticas especializadas de negocios, así como la integración de cadenas de suministro, innovación y transferencia tecnológica (MEP, 2020). De hecho, los centros MEP actúan como centro de operaciones que permiten la vinculación entre las empresas manufactureras, las agencias gubernamentales, las universidades, los laboratorios de investigación y las iniciativas estatales y federales, de modo que actúan como un nodo que articula y apoya el crecimiento e innovación de diversas iniciativas relacionadas con el sector manufacturero (MEP, 2020).

Otro enfoque es el que se desarrolla en España, por ejemplo el que adopta el Instituto Tecnológico de Aragón (ITAINNOVA) (ITAINNOVA, 2020), el cual parte de que la Industria 4.0 con un enfoque conceptual aún en construcción, y que su mayor reto es su adopción progresiva y apropiada a las condiciones particulares del sector manufacturero español; se articula mediante centros tecnológicos regionales que prestan servicios de investigación, innovación y transferencia de tecnología y conocimiento a las empresas, siguiendo una estrategia metodoló-

gica en la cual lo más importante es diagnosticar el nivel de receptividad de los procesos que tienen las empresas para, a partir de dicha realidad, diseñar una estrategia de digitalización progresiva y adaptativa, en la que la meta no es la adopción total de los sistemas tecnológicos y tecnologías habilitantes I4.0, sino más bien consensar un primer nivel de digitalización posible para la empresa, para de ahí entonces sí avanzar en el escalamiento de nuevas adopciones de sistemas tecnológicos, aplicando para esto un estándar definido por el Gobierno Español, en este caso mediante el modelo de transformación digital de la industria (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, 2020), en específico la herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital.

Para tal fin determinan tres niveles de digitalización progresiva:

- Nivel inicial, que está orientado a la generación de infraestructura de datos e información digitalizada vinculada principalmente a la planificación de los recursos empresariales y a los sistemas de gestión de ciclo de producto, incluyendo las herramientas de diseño 3D.
- Nivel intermedio, en el que el mayor esfuerzo se dirige a la implantación de sensores a equipos y procesos, de tal forma que se habilite la posibilidad de gestionar la producción mediante *big data*.
- Nivel avanzado, en el que una vez articulados la planeación de recursos empresariales, el ciclo de producto y la sensorización de equipos y procesos para obtención de *big data*, se incorporan soluciones de inteligencia artificial orientadas al apoyo en la toma de decisiones (ITAINNOVA, 2020).

En el caso mexicano, la adopción de la Industria 4.0 ha seguido un patrón de desarrollo más incierto respecto a la solidez de las experiencias alemana, norteamericana y española. Destacan dos experiencias vinculadas a la educación superior; la primera vinculada a la idea de formación y fortalecimiento de clústeres industriales en el estado de Querétaro, y la segunda con la formación de recursos humanos en el Estado de Nuevo León. El Ecosistema de Innovación IQ4.0 del estado de Querétaro parte de la coordinación del proyecto entre la Universidad Tecnológica de Querétaro y el Clúster de Industrias de Manufactura Avanzada y Automoción de Querétaro (UTEQ, 2018), en el cual la principal característica es la de definir una estructura de coordinación entre los sectores

público, privado y académico, además de definir las tecnologías habilitantes prioritarias que serán desarrolladas al interior del clúster. Otro de los productos significativos fue la generación del mapa de ruta IQ4.0 a fin de definir las etapas, actividades, recursos y resultados deseados así como la definición de un plan de implementación (UTEQ, 2018), no obstante lo anterior, en este momento es difícil establecer el grado de éxito de la iniciativa y de sus resultados.

Por otro lado, en el estado de Nuevo León la Universidad Regiomontana propone lo que parece ser una propuesta académica novedosa relacionada con el Lab 4.0. La Universidad Regiomontana tiene relación directa con la acentuación en I4.0 en los perfiles de egreso de un conjunto de carreras que oferta (Universidad Regiomontana, 2020). En ese sentido, los perfiles de egreso que proponen tienen que ver con los diferentes roles que puede adquirir los profesionales vinculados a una disciplina de origen, distinguiéndose cuatro roles: el de tecnólogo, científico de datos, estratega y creativo, todos con la acentuación en Industria 4.0. Cada una de las acentuaciones tienen alcances en cuanto a las competencias y roles que desempeñarían en un entorno de I4.0 (Universidad Regiomontana, 2020): el tecnólogo se centraría en aspectos relacionados con la conectividad, la interactividad y el intercambio seguro de datos entre dispositivos y máquinas, por lo que podría estar relacionado con la gestión de tecnologías habilitantes de integración tecnológica, *machine to machine* e internet de las cosas; el científico de datos estaría relacionado con la arquitectura e ingeniería de bases de datos, por lo que su rol se enfatizaría en la gestión de tecnologías de *big data*; el estratega, cuyo rol estaría más relacionado con el desarrollo de nuevos modelos de negocios relacionados con I4.0; y por último, el creativo, cuyo rol es el de aplicar tecnologías habilitantes relacionadas con la realidad virtual y aumentada, marketing y arquitectura aumentada, así como con tecnologías de simulación.

Desde este enfoque, las competencias profesionales (Universidad Regiomontana, 2020) estarían relacionadas con tecnologías habilitantes tales como máquina a máquina (M2M), internet de las cosas (IoT), *big data* (BD) y realidad virtual y aumentada (RVA), así como a su manejo certificado y vinculación a emprendimientos empresariales (Universidad Regiomontana, 2020), además de prever una línea de trabajo de investigación aplicada (Universidad Regiomontana, 2020). En ese sentido, su alcance se enfocaría en el internet de las cosas industriales, los sistemas de inteligencia vinculados a dispositivos, la analítica

de datos de sistemas ciberfísicos, incluyendo los gemelos digitales, internet de las cosas y realidad virtual y aumentada. Por lo que el modelo educativo, al tener una orientación de acentuaciones, se convierte en una experiencia significativa y de avanzada en un país como el nuestro, en el que no existe un esfuerzo articulado, robusto y sólido para el desarrollo de estándares, regulaciones y sistemas tecnológicos federales y/o estatales a partir de tecnologías habilitantes estratégicas respecto a nuestras capacidades productivas, especialmente aquellas relacionadas con las PYMES.

Una de las primeras reflexiones acerca de la revisión de las experiencias anteriormente expuestas es que existen diferentes formas de abordar la implantación y desarrollo de la llamada Industria 4.0, ya sea desde una configuración centralizada y planificada con una visión hacia el desarrollo de un liderazgo internacional, o bien desde una perspectiva descentralizada en red que considera como principal instrumento al apalancamiento por alianzas consorciadas que responden a necesidades locales y/o regionales y que tienen que ver más con esfuerzos dirigidos por la dinámica del mercado y de las necesidades críticas que este va imponiendo al sector manufacturero, o nodos regionales que van acompañando en la adopción progresiva, adaptativa y voluntaria de la I4.0, y que da suficiente margen de maniobra para definir qué áreas de negocio pueden ser digitalizadas; o casos como el de nuestro país, que da la impresión de irse autogestionando con iniciativas cuya articulación y resultados aún están en proceso y a prueba. Aquí quizá surja una primera crítica a la orientación de la I4.0, dado que aparentemente hace uso de sistemas tecnológicos y tecnologías habilitantes que promueven la horizontalidad y la integración, que mejoran la transparencia y el acceso y gestión de la información y que, por la revisión de experiencias, tiene un uso limitado en todas las cadenas y sectores productivos debido a que las características de horizontalidad e integración bien pudieran ser utilizadas en otro tipo de contextos cuya orientación social posibilitaría mediante estos sistemas tecnológicos la potencialización y el acceso a capacidades productivas superiores a iniciativas basadas en economía social solidaria¹ por

1 Entendiendo la economía social solidaria desde la definición de la Red Intercontinental de Promoción de la Economía Social Solidaria (2020): «La economía social solidaria

ejemplo, de modo que la I4.0 pudiera generar en países como el nuestro lo que podríamos definir como una I4.0 orientada socialmente, sobre todo a grupos sociales que tradicionalmente no han accedido a este tipo de recursos.

Es importante apuntar también que quizá el mayor reto en este sentido estaría ubicado en dos líneas prioritarias: la primera relacionado con la calidad y capacidad de uso de TIC y equipos de cómputo, que en nuestro país, de acuerdo a la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2019, tiene todavía un camino largo por recorrer, debido a que el 53.3 por ciento de los hogares no disponen de una computadora por falta de recursos (ENDUTIH, 2019) y solo el 56 por ciento cuenta con conexión a internet (ENDUTIH, 2019a), además de que existe una brecha entre hogares urbanos y rurales debido a que los hogares urbanos que disponen de computadoras representan el 50.9 por ciento, mientras que los rurales el 20.6 (ENDUTIH, 2019b), replicando dicha desigualdad en la disponibilidad de conexión a internet en los hogares urbanos que representan el 65.5 por ciento y 23.4 en los rurales (ENDUTIH, 2019c). La segunda línea estaría relacionada con el desarrollo de recursos humanos desde las instituciones de educación superior y su articulación de programas de investigación incidencia que permitan ir preparando la masa crítica humana, pero también los pilotos, instrumentos de política pública y los

(ESS) es una alternativa al capitalismo y a los sistemas económicos autoritarios controlados por el Estado. En la ESS, la gente común tiene un rol activo en determinar el curso de todas las dimensiones de la vida humana: económica, social, cultural, política y ambiental. La ESS existe en todos los sectores de la economía, producción, finanzas, distribución, intercambio, consumo y gobernanza. La ESS anhela transformar el sistema social y económico incluyendo los sectores públicos y privados, así como el tercer sector. En la ESS no se trata sólo de reducir la pobreza, sino también de superar las desigualdades, que abarcan todas las clases sociales. La ESS tiene la capacidad de utilizar las mejores prácticas del sistema presente (como la eficiencia, uso de la tecnología y conocimiento) y de canalizarlas hacia el beneficio de la comunidad, en función de los valores y objetivos del movimiento de la ESS. [...] La ESS empuja hacia una transformación social que va más allá de un cambio superficial en el cual las raíces opresivas estructurales permanecieran intactas». <http://www.ripest.org/que-es-la-ess/es-economia-social-solidaria/?lang=es>

cambios institucionales que permitirían al tiempo de mejorar el acceso y uso de la infraestructura tecnológica necesaria para el desarrollo de la 14.0, acercarlo hacia los grupos sociales que constituyan una base de cambio tecnológico, pero desde una lógica *bottom-up*, lo cual podría ser una aportación significativa desde nuestra realidad al desarrollo de este concepto productivo a nivel global.

De la Industria 4.0 a la Construcción 4.0, la experiencia chilena como referente en Latinoamérica

Una de las experiencias más significativas, tanto por la amplitud de sus alcances como por la diversidad de las iniciativas que conviven y se desarrollan paralelamente, es la que actualmente se genera en Chile, donde al menos tres iniciativas coexisten con diferentes alcances y enfatizan diferentes roles de los actores que articulan al sector de la construcción. Cada iniciativa presta especial atención a diferentes metas dentro de una idea de absorción tecnológica de la 14.0 en la construcción a nivel nacional, haciéndolo en tres vertientes: una de carácter público-privado que apunta a la consolidación del estándar *building information modeling* (BIM) como instrumento de gestión del proceso productivo en el sector de la construcción (BIM Forum, 2020); otro que se dirige a la formación y consolidación de una gran estructura público-privada de gestión de la Construcción 4.0 en lo que se ha definido como Construye 2025 (Construye 2025, 2020); y una última, que está representada por proyectos autogestionados, consorciados y financiados por la Corporación de Fomento de la Producción, donde las universidades chilenas desarrollan alternativas pilotos tanto de transferencia de tecnología y conocimiento como de desarrollo de servicios de investigación para el sector de la construcción, como es el caso del Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS) (CIPYCS, 2020). En el caso chileno, el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, a través de la Corporación de Fomento de la Producción, es quien financia y promueve la creación y desarrollo de estas tres vertientes de absorción tecnológica de la 14.0 en el sector de la construcción, dejando al sector de la ciencia y tecnología la participación a través de la academia o las universidades.

El BIM Forum Chile (2020) está concebido como una instancia técnica

coordinada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción, que articula a entidades académicas, oficinas de arquitectura e ingeniería, empresas coordinadoras de proyectos, integradores tecnológicos, empresas de especialidades y de suministros, contratistas y por último oficinas de inspección técnica. Por lo que podríamos sugerir que esta iniciativa actuaría como una red de carácter temático para el desarrollo, la difusión y las buenas prácticas, integrada por actores académicos, profesionales y empresariales, que cubriría por la naturaleza de sus actores aspectos de formación de recursos humanos y, posiblemente, de investigación, de desempeño profesional y empresariales relacionados con la adopción y absorción tecnológica del estándar BIM.

Por su parte, la iniciativa Construye 2025 constituye un esfuerzo financiado y coordinado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) que busca la articulación de los actores públicos, privados y académicos para fomentar la adopción y absorción tecnológica de la I4.0 en el sector de la construcción en cuatro áreas de incidencia (CORFO, 2020): la inclusión de la Construcción 4.0 en la provisión de bienes públicos; la articulación de actores en iniciativas de largo aliento; el desarrollo de iniciativas innovadoras y la mejora de regulaciones; el cambio cultural relacionado con los valores de productividad y sustentabilidad. Su alcance estaría relacionado con la cadena de valor de la edificación en los sectores comercial, público y residencial, integrada a lo largo del ciclo de vida (CORFO, 2020), y los programas estratégicos que desarrollaría se basan en la llamada especialización inteligente, orientada al desarrollo y coordinación de bienes públicos, tales como la formación de recursos humanos, la infraestructura física y la conectividad habilitante, infraestructura tecnológica común y mejora normativa y regulatoria (CORFO, 2020), teniendo como ejes estratégicos a la construcción industrializada, la construcción sustentable, la innovación, la mejora continua y la transformación digital (CORFO, 2020).

Las iniciativas y proyectos que tienen lugar en Construye 2025 tienen que ver con la configuración de una plataforma de gestión integral que incluye:

1. Plan BIM, que busca incorporar al estándar BIM a lo largo del ciclo de vida de la construcción, de tal modo que en 2030 todos los proyectos públicos se gestionen a través del BIM.

2. Centro Tecnológico I+D+I, orientado a producir tecnología para la cadena de valor de la industria de la construcción, incluyendo infraestructura física, tecnológica y capital humano.
3. DOM en línea, que constituiría la plataforma nacional automatizada y estandarizada de gestión de permisos de edificación.
4. Modernización de marcos contractuales, a fin de disminuir los conflictos en el sector alineando los instrumentos de contratación al modelo de contratos colaborativos tipo *Integrated Project Delivery*.
5. Gestión de residuos de la construcción, que incluyen la actualización y mejora normativa, así como la difusión de buenas prácticas.
6. Desarrollo y actualización de normativa y certificación sustentables, que implica tanto el desarrollo de indicadores de sustentabilidad como el marco legal necesario.
7. Construcción industrializada, mediante la formación del llamado Consejo de Construcción Industrializada, el cual se constituye como un instrumento de vinculación, difusión y formación de recursos humanos.
8. Los Centros de Extensionismos, que en la actualidad aún siguen en fase de definición conceptual (CORFO, 2020).

Por otro lado, el CIPYCS es un consorcio interuniversitario liderado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad del Bío-Bío, Universidad Católica del Norte, Universidad de Talca, teniendo como co-ejecutores a la Universidad Técnica Federico Santa María, la Universidad Austral de Chile y la Universidad de Magallanes (CIPYCS, 2020); es financiado por el Programa de Fortalecimiento y Creación de Capacidades Tecnológicas Habilitantes para la Innovación de CORFO (CIPYCS, 2020), y se enfoca en cinco áreas: construcción sustentable; sistemas de construcción en madera; productividad, calidad y resistencia estructural; nuevos materiales; sistemas constructivos y productos sustentables. En particular, CIPYCS cuenta con infraestructura tecnológica vinculada con Construcción 4.0 y dada su importancia nacional representa un referente en la materia. El equipamiento incluye unidades experimentales en dos tecnologías habilitantes, la primera de realidad virtual inmersiva y aumentada y la segunda relacionada con manufactura aditiva; en ese sentido, cuentan con un Laboratorio de Experiencias Virtuales Inmersivas y Aumentadas para el

Diseño, Construcción y Operación y una unidad de prototipado a escala piloto.

Reflexionando sobre las experiencias chilenas puede identificarse que un cunado parece tener un alto grado de desarrollo respecto a la adopción de la 14.0; el sector de la construcción, no obstante aún en estado de pleno desarrollo y con iniciativas cuya articulación dependen de la capacidad de autogestión descentralizada de actores privados, profesionales y académicos, tal como sucede en el Forum BIM y el CIPYCS, y por otro lado una iniciativa centralizada como Construye 2025, pero que no tiene aún acciones y productos concretos sino que sigue aparentemente en fase de planeación y formación, y que además no identifica de manera estratégica las tecnologías habilitantes que se proponen desarrollar en el sector de la construcción ni tampoco ordena de manera concreta qué sistemas tecnológicos tendrán un papel preponderante, aun cuando se alcanza a intuir que los modelos de negocios-formación de clientes 4.0, la educación e investigación y desarrollo 4.0 y los productos inteligentes pueden estar dentro de sus alcances.

Construcción 4.0, hacia el desarrollo de una estrategia académica alternativa en la Universidad de Guadalajara.

En los últimos aparecen dos referentes significativos para las posibles orientaciones que podría tomar una propuesta académica relacionada con el concepto Construcción 4.0, el primero relacionado con la exploración de la producción personalizada en los ámbitos arquitectónicos y urbanos (Piller, 2013; Kendall, 2013 y Farr, 2013), y el otro por el desarrollo de entornos virtuales de investigación para los programas educativos de ingeniería (Grodotski, 2018). La producción personalizada nos remite a la noción de dar al cliente de un producto lo que quiere y cuando lo quiere; de acuerdo con Pine citado por Piller (2013), implica por lo tanto dar al cliente lo que necesita con un uso eficiente de recursos sin costos excesivos, esto a su vez implica que las organizaciones que aspiran a implantar procesos de producción personalizada deben tener habilidades para:

1. Identificar los atributos que los clientes necesitan que sean divergentes, de manera que definan qué pueden ofrecer y qué no pueden.

2. Desarrollar procesos robustos de diseño, que impliquen capacidades para reusar o recombinar recursos organizacionales y de la cadena de valor y así satisfacer las necesidades diferenciadas de los clientes.
3. Apoyar a los clientes en la identificación de sus propios problemas y soluciones, mientras que se minimiza la complejidad de las elecciones posibles (Piller, 2013).

La producción personalizada tiene en la vivienda un espacio significativo para su desarrollo e implantación, por una parte como un proceso mediante el cual puede ser construida y prefabricada como una unidad completa o mediante componentes que pueden ser habilitados flexible y voluntariamente por sus habitantes, esto teniendo como contexto la interacción entre una infraestructura física, las decisiones individuales y las de la organización social que sitúan su producción (Kendall, 2013), por lo que la construcción socio-tecnológica de la producción personalizada de la vivienda apunta a la importancia de clarificar la distinción entre las esferas de control comunes e individuales, es decir, existe una distinción entre lo que es deseable y posible a escala individual y comunitaria para optar entre la producción prefabricada de unidades espacialmente rígidas y la producción de módulos que pueden dar lugar a configuraciones espaciales flexibles

Esto es importante dado que la opción de producción de paquetes o módulos de componentes listos para ensamblarse al tiempo de generar configuraciones espaciales flexibles, también dan lugar a nuevas formas de negocios y cadenas de abastecimiento (Kendall, 2013), convirtiéndose en una alternativa que agrega valor en el mercado internacional de productos y servicios de las construcción (Kendall, 2013); no obstante, habría que distinguir los ámbitos de aplicación de los módulos de ensamblaje, el primero relacionado con la edificación, y el segundo con el equipamiento de la edificación base (Kendall, 2013), lo cual implica que el ámbito disciplinar de la aplicación de la producción personalizada puede abarcar la intersección entre el diseño industrial y la arquitectura.

De la misma manera, sería posible aplicar la producción personalizada a espacios y entidades urbanas (Farr, 2013) que pueden ser utilizadas en el diseño, mejora o modificación de espacios urbanos y entidades personalizables, y que pueden ser categorizadas en cinco capas clave e intervenidas ya sea por separado o interactiva y simultáneamente (Farr, 2013):

- (Infra)estructura referida a los rasgos fundamentales de un espacio urbano como elemento estructural o de infraestructura que en esencia generan varias posibilidades para modificar o adaptar el espacio urbano para funciones efímeras.
- Compartimientos personalizables de construcciones, tales como las terrazas externas de un restaurante o un espacio vestibular de un edificio y que son considerados como espacios de segunda mano debido a que son parte de elementos estructurales del espacio urbano.
- Elementos urbanos que son fácilmente modificables, intercambiables o removibles y son usados para personalizar el espacio, por ejemplo vegetación estacional, decoraciones ocasionales, banderas, etc.
- Mobiliario individual o multifuncional que es usado durante varias horas del día o días de la semana o en ocasiones especiales.
- Especificaciones referidas a los elementos no-físicos que son planeados por los diseñadores, tales como música ambiental, iluminación pública, sombras, etc.

Por otra parte, al igual que la oportunidad que representa la producción personalizada, el desarrollo de entornos virtuales tanto para la educación como para la investigación representan una área por explorar en las instituciones de educación superior, en tanto que, adicionalmente a los enfoques convencionales de enseñanza de la ingeniería, se han beneficiado del uso de tecnologías habilitantes tales como las realidades virtual y aumentada (Grodetzki, 2018), las cuales pueden ser combinadas con soluciones de realidad virtual y simulación para generar laboratorios remotos (Grodetzki, 2018). En ese sentido, la experiencia generada por el Proyecto Enseñanza Aprendizaje de Excelencia en Ciencia de Ingeniería (Grodetzki, 2018) en la cual las universidades Técnica de Aquisgrán, Ruhr de Bochum y Técnica de Dortmund tienen como objetivo la creación de docentes y estudiantes para el ambiente futuro vinculado a la 14.0, teniendo tres componentes principales (Grodetzki, 2018): el desarrollo de laboratorios remotos, ambientes virtuales de aprendizaje y células teleoperativas de pruebas; la consideración del ciclo de vida del estudiante durante su tránsito académico; y su vinculación a un enfoque de globalización y emprendurismo. Quizá los instrumentos más significativos son las células teleoperativas de

pruebas y los laboratorios virtuales (Grodotzki, 2018); por un lado las células teleoperativas de pruebas abarcan experimentos de prueba estandarizados con el fin de poner a prueba los contenidos expuestos en los cursos teóricos, y por otro, los laboratorios virtuales que generan entornos que imitan las pruebas remotas y simulan sus resultados.

A partir de la producción personalizada y el uso de entornos virtuales de investigación que hagan concurrir tecnologías habilitantes podría enfocarse el desarrollo de un sistema tecnológico de educación e investigación y desarrollo 4.0 orientado a la intersección disciplinar entre la arquitectura, el diseño urbano y el diseño industrial para la Universidad de Guadalajara, tomando como caso de referencia natural al Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD). Este enfoque novedoso abre la posibilidad también de vincularlo hacia una estrategia de investigación, incidencia que acompañará y apoyará la formación y consolidación de iniciativas de economía social solidaria relacionadas con el acceso justo al hábitat.²

La propuesta entonces podría centrarse en dos iniciativas: la primera relacionada con el desarrollo de un nueva acentuación dentro de los programa académicos vinculados a la construcción; en principio se podrían considerar a las licenciaturas en arquitectura (Licenciatura en Arquitectura, 2020) y diseño industrial (Licenciatura en Diseño industrial, 2020), específicamente en el CUAAD,³ así como el desarrollo de un nuevo programa académico co-desarrollado con centros universitarios con áreas de ingeniería industrial, de computación y/o mecatrónica, tales como el de Ciencias Exactas e Ingeniería

-
- 2 Entendido como el resultado de la aplicación de los principios básicos de gestión del territorio constituidos por (CELS, 2017): los derechos a la ciudad y a la vivienda; la solución de déficits que abarcan las condiciones básicas de infraestructura, servicios, equipamientos, y movilidad; la función social de la propiedad inmueble y del suelo; la gestión democrática de la ciudad; y el reparto equitativo de cargas y beneficios.
 - 3 Para mayor información acerca de las carreras y alcances del quehacer del Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño, puede consultarse su sitio web <http://www.cuaad.udg.mx>

o el Regional de Tlajomulco, que incorpore el uso y desarrollo de la producción personalizada para el acceso justo al hábitat en un entorno educativo y de investigación de Construcción 4.0; y el segundo, la integración de lo que se podría llamar una red de infraestructura de investigación de Construcción 4.0 con liderazgo del CUAAD y con participación de centros universitarios con áreas de ingeniería industrial, de computación y/o mecatrónica en principio, que incluiría la integración de laboratorios y equipos alrededor de tecnologías habilitantes, que a su vez estarían vinculadas a través de un enfoque de manufactura en nube para generar entornos virtuales de investigación aplicada, de líneas de investigación de cuerpos académicos⁴ y asociación con programas de posgrado y su apalancamiento a partir de la formación de consorcios socios externos de sectores público, privado y social, con especial énfasis de este último, dando lugar al fortalecimiento de iniciativas de emprendimiento social-solidario asociadas con colectivos de base popular y comunitaria.

El desarrollo de acentuaciones en arquitectura y diseño industrial podría tomar como referencia la identificación del rol que denominaremos gestor de la producción social del hábitat 4.0,⁵ el cual tendría como principal orientación la de profundizar en el uso de tecnologías habilitantes tales como manufactura aditiva, BIM, realidad virtual y aumentada, así como manufactura en la nube a procesos de producción del hábitat. En ese sentido, la estructura que podría seguir la trayectoria académica podría articular las áreas de formación especializada selectiva, quizá de tronco común, a fin de optimizar los recursos humanos y materiales, pudiendo articular cuatro cursos semestrales de asignaturas

4 Pueden revisarse los conceptos básicos asociados a los cuerpos académicos en <http://promep.sep.gob.mx/ca1/Conceptos2.html>

5 Entendiendo a la producción social del hábitat en el sentido en que lo define Romero (1995): «[...] sistema que permite que los individuos, las familias, las comunidades y las diferentes organizaciones sociales produzcan viviendas y hábitat en forma tal que controlen las decisiones fundamentales, ya sea en forma individual o en conjunto, mediante procesos que tiendan a evolucionar hacia formas más complejas y efectivas». Disponible en http://hic-gs.org/content/Online/Romero_PSH_intro.pdf

secuenciadas, gestión de las tecnologías habilitantes propuestas y una adicional de Producción Social del Hábitat 4.0 (PHS 4.0), cuya esencia sería articular en un primer ejercicio de producción social del hábitat los conocimientos derivados del manejo de las tecnologías habilitantes propuestas en los cursos anteriores, de modo que en el caso de las licenciaturas de arquitectura y diseño industrial pudieran culminar en el último curso, ya sea de proyecto de fin de carrera o de inserción profesional con un proyecto de incidencia de gestión de la producción social del hábitat 4.0. En el esquema 1 se presenta la propuesta conceptual de la inserción profesional vinculada al rol de gestor de la producción social del hábitat 4.0.

En cuanto al desarrollo de una nueva oferta académica asociada con el concepto Construcción 4.0 partiendo del enfoque de producción personalizada en los ámbitos arquitectónicos y urbanos (Piller, 2013; Kendall, 2013 y Farr, 2013) y del desarrollo de entornos virtuales de investigación y educativos propuestos por Grodotzki (2018), que se articule en la lógica propuesta por el concepto de producción social del hábitat y la vivienda propuesto por Romero (1995) es que podría generarse una licenciatura en hábitat y vivienda que se centre en articular ambos para su conseguir un acceso justo, mediante soluciones de producción personalizada apoyados en el desarrollo de entornos virtuales de investigación y educativos, así como en tecnologías habilitantes 4.0 que correspondan a sistemas tecnológicos de Educación, Investigación y Desarrollo 4.0, Fábrica inteligente, Trabajo 4.0 y Modelos de negocios-formación de clientes 4.0. Una primera aproximación conceptual al tema puede verse en el esquema 2.

En el caso de la propuesta de una red de infraestructura de investigación, ésta articularía a los cuerpos académicos, a la infraestructura tecnológica vinculable a la Construcción 4.0 y a los programas académicos de pregrado y posgrado, así como de formación de consorcios apoyados en la incidencia, la producción horizontal del conocimiento⁶ y el desarrollo colaborativo y situado

6 En el sentido que propone Corona Berkin (2019), en cuanto al abordaje de los problemas sociales hechos por los especialistas disciplinares y científicos, debería promover la igualdad discursiva respecto de las comunidades, de tal forma que se obtiene riqueza de las nuevas soluciones y respuestas desde la



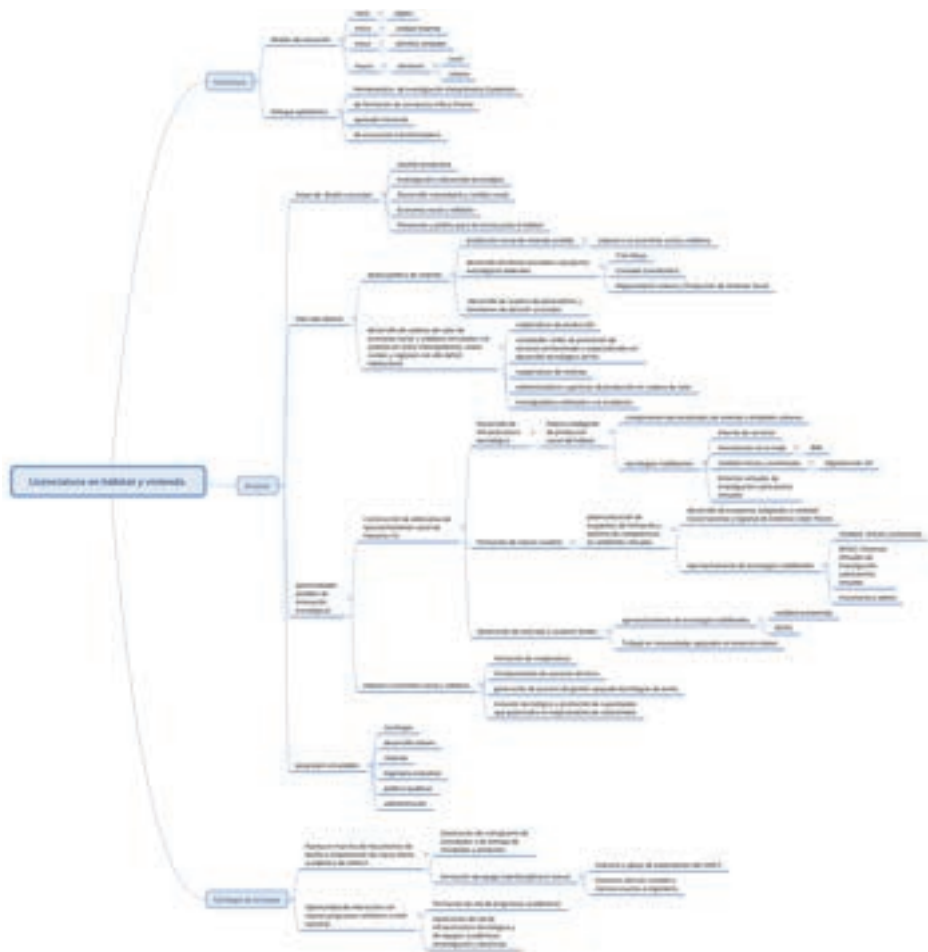
Esquema 1. Propuesta conceptual de acentuación orientada hacia la gestión de la producción social del hábitat 4.0.

de tecnología. Los componentes de una propuesta de estas características implicarían el desarrollo de:

- Un área institucional de vinculación social y comunitaria relacionada con el área de extensión y difusión así como de investigación y posgrado, la cual gestione las interacciones y vinculaciones con las organizaciones de base popular y comunitaria, alineando su trabajo con las expectativas previstas en los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces) del Conacyt,⁷ al tiempo que tenga capacidades y competencias para promover el desarrollo de consorcios de producción social del hábitat 4.0 entre actores privados, públicos y organizaciones de base popular y comunitaria.
- Una bolsa de proyectos de investigación incidencia que tengan la posibilidad de articularse sistemáticamente con las líneas de investigación de los cuerpos académicos y programas de posgrado, de manera tal que puedan articularse proyectos profesionales de incidencia en pregrado con proyec-

multiplicidad de las razones expuestas.

7 Puede revisarse la definición y orientación de los Pronaces en <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/que-son-los-pronaces>



Esquema 2. Propuesta conceptual de la Licenciatura en Hábitat y Vivienda.

tos de investigación incidencia de nivel de posgrado, los cuales tengan la posibilidad de integrarse a proyectos regionales y/o nacionales de investigación incidencia.

- Entornos virtuales de investigación y laboratorios virtuales relacionadas con temáticas articuladas a proyectos de investigación incidencia y líneas de investigación de cuerpos académicos y posgrados.

- Un área institucional de maduración tecnológica colaborativa con organizaciones de base popular y comunitaria, que incluya instrumentos móviles para intervenciones en sitio, una plataforma colaborativa anidada en el portal del CUAAD y un laboratorio vivo orientado a la innovación social.
- La integración de un sistema de infraestructura tecnológica que articule en un ambiente virtual con una lógica de manufactura en nube (donde sea posible) los diferentes equipos vinculados a la construcción disponibles en el CUAAD, además de que vincule su gestión alrededor de las temáticas y proyectos regionales y/o nacionales de investigación incidencia, y con esto posibilite y facilite el acceso a los equipos para los cuerpos académicos, programas de posgrado y pregrado con acentuación PHS 4.0.
- Un comité técnico que gestione y tome decisiones relacionadas con la operación y planeación del trabajo de la red.

Como reflexión final podríamos apuntar dos resultados posibles ligados a esta propuesta académica relacionada con el concepto Construcción 4.0: el primero es que la red de infraestructura tecnológica del CUAAD se convertiría en un recurso tanto para la investigación incidencia, para la docencia y para la extensión asociada a la producción social del hábitat; el segundo, que tiene que ver con el desarrollo de nuevos perfiles profesionales asociados con la I4.0 asociados a su vez con la producción social del hábitat, de modo que posibilite un enfoque alternativo que esté más centrado en los beneficios del aprovechamiento de esta revolución industrial por parte de las comunidades, con un enfoque de economía social y solidaria, que tradicionalmente no han participado en nuestro país ni a nivel global en los procesos asociados a la Industria 4.0.

Referencias bibliográficas

- Cornelis de Man, J. y Strandhagen, J. (2017). An Industry 4.0 research agenda for sustainable business. *Procedia CIRP* 63 (2017), 721-726.
- Alcácer, V. y Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: a literature review on technologies for manufacturing systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal* (22), 899-919.

- Kurt, R. (2019). Industry 4.0 in terms of industrial relations and its impacts on labour life. *3rd World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. Procedia Computer Science* (158,), 590-601.
- Mitcham, C. (2014). Three ways of being-with technology. En R. Scharff, & V. Dusek (edits.), *Philosophy of technology. The technological condition an anthology. Second Edition* (págs. 523-538). Chichester, West Sussex, UK: Wiley Blackwell.
- Pereira, A. y Romero, F. (2017, junio). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017*, 28-30.
- Quintanilla, M. (2005). *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. Mexico DF: Fondo de Cultura Económica.
- Rejikumar, G., Raja Sreedharan, V., Arunprasad, P., Jinil, P. y Sreeraj, K. (2019). Industry 4.0: key findings and analysis from the literature arena. *Benchmarking: An International Journal*, 26 (8), 2514-2542.
- Casalet, M. (2018). La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa. Estudios de casos. *Documentos de Proyectos (LC/TS.2018/95)*, Santiago: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Corona, S. (2019). *Producción horizontal del conocimiento*. Alemania: Bielefeld University Press.
- Romero, G. (1995). La producción social del hábitat: reflexiones sobre su historia, concepciones y propuestas. Documento PDF disponible en http://hic-gs.org/content/Online/Romero_PSH_intro.pdf
- Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares. (2019). Hogares que no disponen de computadora, según principales razones. Hoja de cálculo de tabuladores predefinidos. Aguascalientes: Instituto Nacional de estadística y Geografía: Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2019/default.html#Tabulados>
- (2019a). Hogares que disponen de Internet, según medio de conexión. Hoja de cálculo de tabuladores predefinidos. Instituto Nacional de estadística y Geografía: Aguascalientes, México. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2019/default.html#Tabulados>
- (2019b). Hogares con equipamiento de tecnología de información y comunicaciones, según tipo de equipo en áreas urbano rural. Instituto Nacional

- de estadística y Geografía: Aguascalientes, México. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2019/default.html#Tabulados>
- (2019c). Hogares que disponen de Internet en áreas urbano rural, según medio de conexión. Instituto Nacional de estadística y Geografía: Aguascalientes, México. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2019/default.html#Tabulados>
- Licenciatura en Arquitectura. (2020). Plan de Estudios. Guadalajara, México: Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Disponible en <http://www.cuaad.udg.mx/?q=oferta/licenciaturas/la/plan-de-estudios>
- Licenciatura en Diseño Industrial. (2020). Plan de Estudios nuevo. Guadalajara, México: Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. Disponible en <http://www.cuaad.udg.mx/?q=plan-de-estudios-nuevo>
- Grodzki, J. (2018). Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0. 46th SME North American Manufacturing Research Conference. *Procedia Manufacturing* 26 (2018) 1349–1360
- Farr, E. (2013) Spatial mass customisation: mass-customisable urban spaces and spatial entities. En Pirofozar P. y Piller F. (edits.). *Mass customisation and personalisation in architecture and construction*. Nueva York: Routledge, pp. 53-64.
- Kendall, S. (2013) The next wave in housing personalisation: customised residential fit-out. En Pirofozar P. A.E. y Piller F.T. (edits.). *Mass customisation and personalisation in architecture and construction*. Nueva York: Routledge, pp.42-52.
- Piller, T. (2013) Three capabilities that make mass customisation work. En Pirofozar P. A.E. y Piller F.T. (edits.). *Mass customisation and personalisation in architecture and construction*. Nueva York: Routledge, pp. 17-30.
- Centro de Estudios Legales y Sociales-CELS. (2017). *Ley de acceso justo al hábitat: guía para su aplicación*. Buenos Aires: Centro de Estudios Legales y Sociales.
- Universidad Tecnológica de Querétaro. (2018). Ecosistema de Innovación iQ4.0 – Mapa de Ruta. Documento PDF. Disponible en <https://www.uteq.edu.mx/files/Doc.%20Final%20IQ4%20V5.pdf>

Sitios web

- Manufacturing Extension Partnership. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <https://www.nist.gov/mep>
- Instituto Tecnológico de Aragón. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <https://www.itainnova.es/blog/industria-4-0/como-definimos-una-hoja-de-ruta-hacia-la-industria-4-0/>
- Lab 4.0 Universidad Regiomontana. (2020). Sitio web. Consultado el 2 de mayo de 2020, disponible en <https://u-erre.mx/lab4.0>
- BIM Forum Chile. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <http://www.bimforum.cl>
- Corporación de Fomento de la Producción. (2020). Construye 2025. Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <http://construye2025.cl>
- Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <https://www.cipycs.cl>
- Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <http://www.cuaad.udg.mx>
- Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior. (2020). Cuerpo académico, conceptos básicos. Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <http://promep.sep.gob.mx/ca1/Conceptos2.html>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2020). Programas Nacionales Estratégicos. Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/que-son-los-pronaces>
- Red Intercontinental de Promoción de la Economía Social Solidaria. (2020). Sitio web. Consultado el 31 de agosto de 2020, disponible en <http://www.ripess.org/que-es-la-ess/es-economia-social-solidaria/?lang=es>

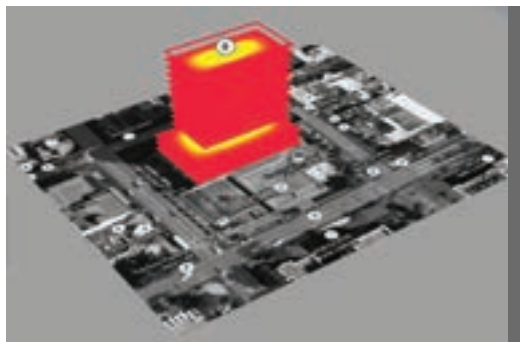
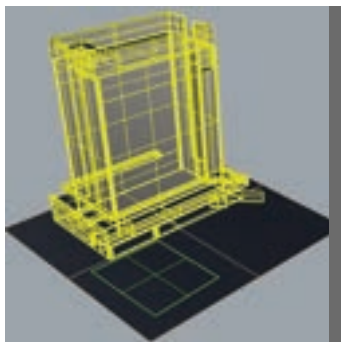
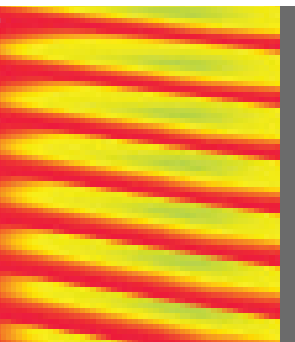
Contacto del autor

- FERNANDO CÓRDOVA CANELA
Departamento de Técnicas y Construcción, Universidad de Guadalajara
fernando.cordova@cuaad.udg.mx

Hábitat, vivienda y Construcción 4.0
se terminó de imprimir y encuadernar
en diciembre de 2020
en los talleres gráficos de
TRICICLO,
Penitenciaría 316, Centro,
Guadalajara, Jalisco, México.

tricilocinco@yaho.com.mx

El tiraje fue de 500 ejemplares.



La presente obra constituye un primer esfuerzo coordinado desde el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara para abordar el complejo desarrollo del concepto Industria 4.0 y su aplicación subsidiaria en el sector de la construcción mediante la denominada Construcción 4.0, teniendo como principal objetivo el

de permitir que el lector especializado en las disciplinas relacionadas con la arquitectura, el diseño y el urbanismo tenga una herramienta tanto teórico-conceptual como de resultados de investigación aplicada que perfilen cómo se desarrolla poco a poco la interpretación y la adaptación de la Construcción 4.0 de manera general en la producción del hábitat y, particularmente, de la vivienda.

