

# Es tiempo de robótica en la arquitectura<sup>1</sup>

*It Is Time for Robotics in Architecture*

Ronan Bolaños Linares  
Universidad Nacional Autónoma de México, México  
ronanb@unam.mx

INVESTIGACIÓN

## Resumen

La incorporación de robótica en la arquitectura es posible hoy en día gracias al acceso a diferentes herramientas que derivan en muchos casos de considerar estrategias de diseño paramétrico. Se reconoce la evolución e incorporación de la robótica en la arquitectura al revisar sus características, los herramientas que se usan en la producción de elementos arquitectónicos, así como algunas experiencias en su implementación. Se mencionan a los actores, las organizaciones implicadas, los retos a futuro y algunas ventajas que podría implicar la automatización de procesos, así como ejemplos muy claros de robots disponibles comercialmente para su uso sobre todo en la industria de la edificación.

**Palabras clave:** robots, arquitectura, construcción, automatización, diseño

## Abstract

*The incorporation of robotics in architecture is possible today thanks to the access to different tools that derive in many cases from considering parametric design strategies. The evolution and incorporation of robotics in architecture is recognized by reviewing its characteristics, the end of arm tools used in the production of architectural elements, as well as some experiences in their implementation. The players, organizations in-*

Fecha de recepción: 19 de agosto de 2019  
Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2019

DOI: 10.22201/fa.2007252Xp.2019.20.72342

<sup>1</sup> Investigación realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IN404618 Laboratorio de Arquitectura + Diseño y Tecnología Experimental (LATE)

*volved, future challenges and some advantages that automation could imply are reviewed, as well as very clear examples of commercially available robots for use especially in the building industry.*

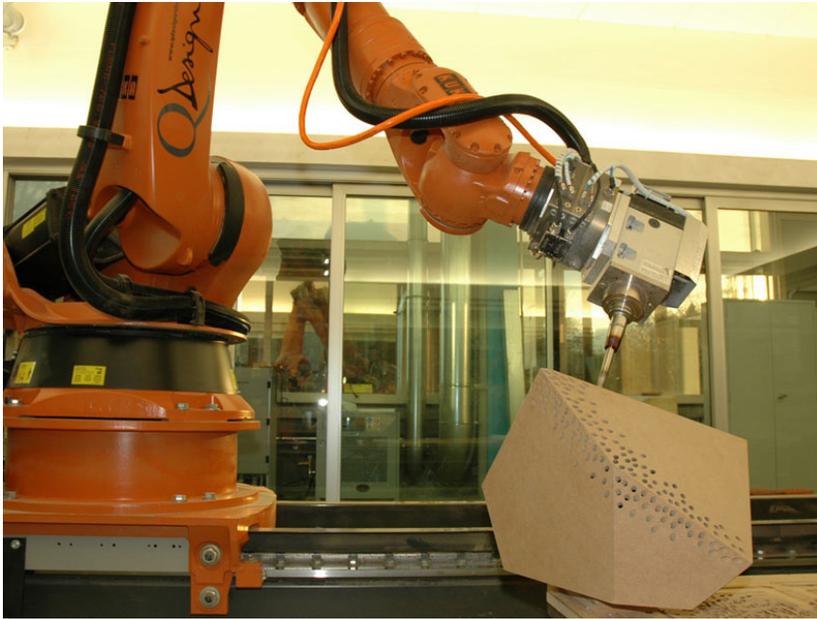
**Keywords:** *robots, architecture, construction, automation, design*

### **Viabilidad en la implementación**

Es posible considerar que el fin de la arquitectura, debe ser la configuración material del espacio útil y contenido por envolventes que proveen de refugio, al apartarnos de los peligros naturales y a su vez, ha de permitir guarecernos de elementos que pudieran incidir en detrimento de la vida. El objeto arquitectónico puede configurarse como una composición tectónica que busque emanar una experiencia estética atractiva, al tiempo que en su lectura y entendimiento se permita el crecimiento y la inspiración del espíritu humano. El objeto arquitectónico cuando se habita debe permitir cumplir las funciones requeridas que dieron origen al proyecto, y ha de dar cabida a la experimentación del espacio contenido bajo condiciones de confort provistas a partir de diferentes ámbitos, tales como higrotérmico, acústico, operativo o vinculatorio. En la construcción del objeto las acciones que han permitido su materialización, no deberían desencadenar daño al ambiente o bien, este daño menor, ha de ser reversible, sea que el proceso constructivo opere o contenga criterios o medidas que restablezcan el estado original en un periodo de tiempo que signifique una escasa fracción de la vida útil de la obra. Si todas las condiciones aquí expuestas se cumplen, es posible señalar que esto es una arquitectura certera, responsable y adecuada conforme al tiempo que vivimos, y es así que podríamos considerar también que la disciplina se habrá conducido adecuadamente, y que los productos habrán establecido una respuesta apropiada y los habitantes muy seguramente estarán complacidos. Por ende, podemos considerar así que los medios de producción empleados no tienen porqué desestimar el uso de herramientas, maquinaria o bien el uso de robots en la arquitectura, al contrario, cualquier herramienta o tecnología que contribuya con un valioso avance en los procesos constructivos, al reducir tiempo, costo, accidentes, etc. será bienvenida.

En la práctica de las disciplinas de la producción del entorno habitable tales como la arquitectura se han ido adoptado diversas estrategias digitales en actividades de análisis, diseño y fabricación, desde la propuesta del sketchpad de Ivan Sutherland<sup>2</sup> en 1963, que daría origen

<sup>2</sup> Ivan Edward Sutherland, Alan Blackwell y Kerry Rodden. Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System. (Reino Unido, Cambridge University 2003) <http://www.cl.cam.ac.uk/02.08.2019>.



Perforación oblicua. Fuente: Fabio Gramazio y Matthias Kohler, "The Oblique Hole", Curso selectivo. Gramazio Kohler Research, ETH Zurich, 2005-2006

al diseño asistido por computadora o CAD (por sus siglas en inglés)<sup>3</sup> hasta el punto que algunas estrategias se han convertido en el estándar hoy en día, tal es el caso del Modelado de Información Constructiva o BIM (por sus siglas en inglés)<sup>4</sup> ya que en la entrega de proyectos se debe considerar la configuración digital de la documentación en este formato.<sup>5</sup> Hoy en día gracias al Diseño Paramétrico y Generativo, y en particular a las herramientas que lo articulan han permitido considerar el uso de dispositivos conectados a la plataforma base sea CAD o BIM para incidir en el diseño y fabricación controlada por arquitectos.

La adopción de brazos robotizados industriales en la investigación de procesos de fabricación en la arquitectura, es notable en particular a partir del trabajo de Fabio Gramazio y Matthias Kohler de la ETH de Zúrich desde 2005<sup>6</sup>. Posteriormente, ya diseminado el interés en la robótica, en 2010 se funda la *International Association of Robots in Architecture* en Viena<sup>7</sup>, misma asociación que en 2012 organiza el primer congreso exclusivo en esta temática, más tarde tendrían lugar las ediciones de 2014, 2016 y 2018. Con esta organización y sus correspon-

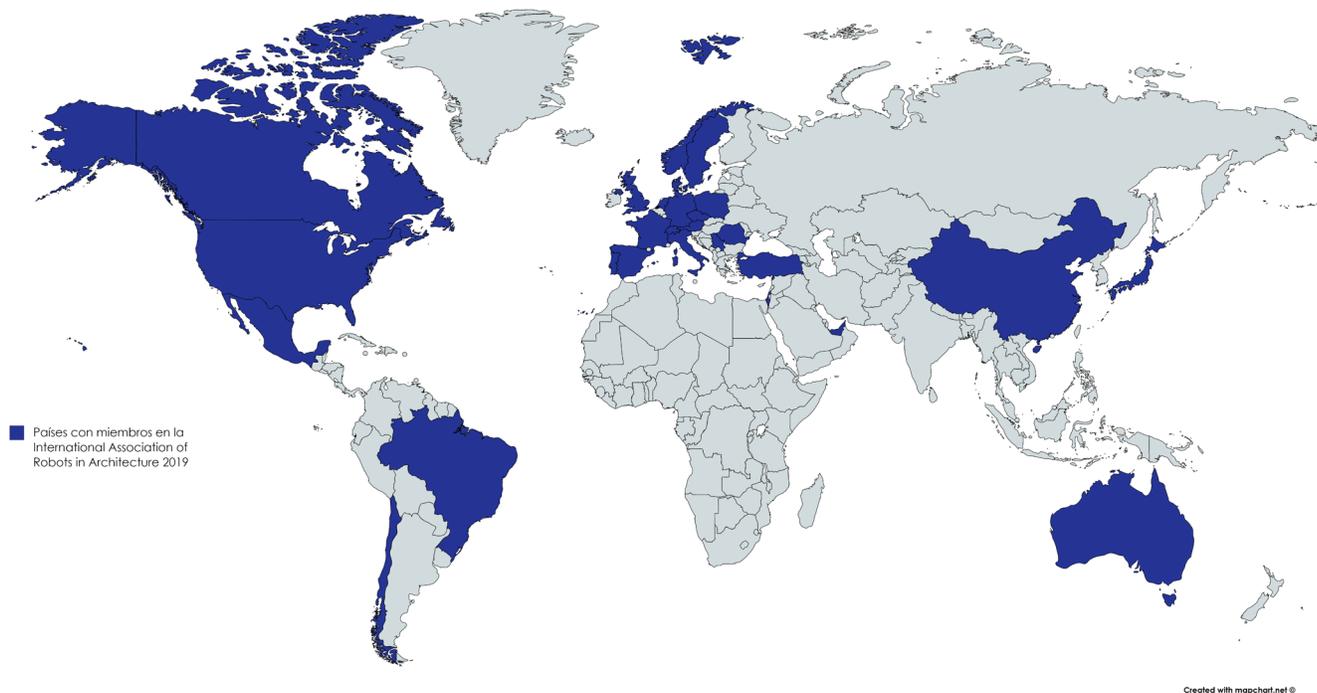
3 Computer Aided Design

4 Building Information Modeling

5 El tipo de archivo de intercambio BIM es el IFC estándar entre las diferentes opciones comerciales que existen de BIM. El Solar Decathlon es una competencia internacional que solicita entregar en este formato.

6 Fabio Gramazio y Matthias Kohler, "From Paradigms to Practice, From Avant-garde to Culture" en *Towards a Robotic Architecture*, Mahesh Daas y Andrew John Wit, editores (EUA: ORO Editions, 2018) 142.

7 Sigrid Brell-Cokcan y Johannes Braumann "Robarch 2012, Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design" Disponible en: <http://www.robarch2012.org/conference> fecha de consulta: 02.08.2019



Atlas de miembros Robarch 2019. Elaboración propia, creado con mapchart.net

dientes encuentros se ha buscado congrega los esfuerzos que se han desarrollado empleando robots en la arquitectura, el arte y el diseño. Al conocer el alcance de esta asociación es posible esbozar el impacto de esta tecnología en la arquitectura, el listado de miembros que ha reunido en poco menos de una década Robots in Architecture, incluye en 2019 a: Alemania (6 miembros), Australia (7), Austria (6), Brasil (1), Canadá (2), Chile (2), China (3)<sup>8</sup>, Dinamarca (1), Emiratos Árabes Unidos (1), España (1), Estados Unidos de América (24), Francia (5), Holanda (1), Israel (1), Italia (6), Japón (1), México (4), Noruega (2), Polonia (1), Portugal (1), Reino Unido (6), República Checa (1), Rumania (2), Serbia (1), Suecia (1), Suiza (6) y Turquía (2). En total 95.<sup>9</sup>

El campo de exploración para los robots en los procesos de fabricación de envolventes habitables se ha abierto y busca asegurar un futuro productivo, es así que tenemos que considerar que estas herramientas permitirán aumentar las capacidades de actuación en el análisis, diseño, uso, operación, fabricación en taller, y particularmente en obra, sea por la manipulación de elementos peligrosos, debido a un acusado peso, por la extrema baja o extrema alta temperatura, condición química delicada, condición física de complejidad operativa, ubicación de difícil acceso, sea por la precisión requerida, o bien en general por las condiciones extra hu-

<sup>8</sup> Hay uno reportado en Hong Kong que no reporta país, se incluyó en China

<sup>9</sup> Sigrid Brell-Cokcan y Johannes Braumann "Association for Robots in Architecture" Disponible en: <https://www.robotsinarchitecture.org/map-of-creative-robots> fecha de consulta:02.08.2019



George C. Devol con PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly)

manas que podrían aportar. Es importante tomar en cuenta que la maquinaria robotizada más allá de estar creada para una sola tarea en específico, puede actuar ejerciendo diferentes funciones o bien tareas complejas, y así se describe en la patente del primer brazo robotizado moderno que ingresara George C. Devol a la oficina de patentes en 1954.

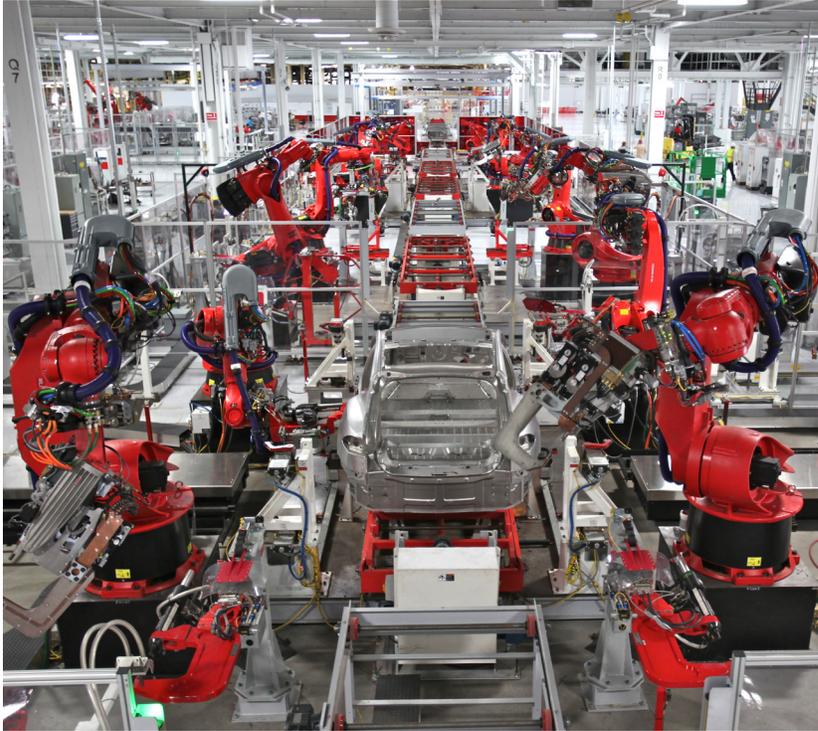
“La presente invención pone a disposición por primera vez una máquina que más o menos sirve para propósitos generales y aplicación universal en una diversidad de aplicaciones donde el control digital cíclico puede ser deseado”<sup>10</sup>

Si bien ya concebimos a los robots en los procesos de manufactura contemporánea hoy en día, particularmente en los procesos automatizados gracias a sus más de 55 años de trayectoria especializada y a la difusión que esta rama de la industria ha tenido. La incorporación de la tecnología robótica en otras áreas también es una realidad palpable hoy en día, por tanto aquí revisaremos con especial atención los temas vinculados a los robots que ya han tenido efecto o tienen efecto actualmente, dejando de lado el fantástico mundo de ficción que ha acompañado o superado a la realidad en esta materia.

### Origen de la robótica

El desarrollo de maquinaria automatizada tiene tal vez su primera referencia en la antigua mitología del Egeo, en particular con la forja de Talos, un gigante de bronce que protegía a los Minóicos de Creta y que fuera

<sup>10</sup> Robotic Industries Association “A Tribute to Joseph Engelberger” Disponible en: <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/timeline.cfm> fecha de consulta: 02.08.2019



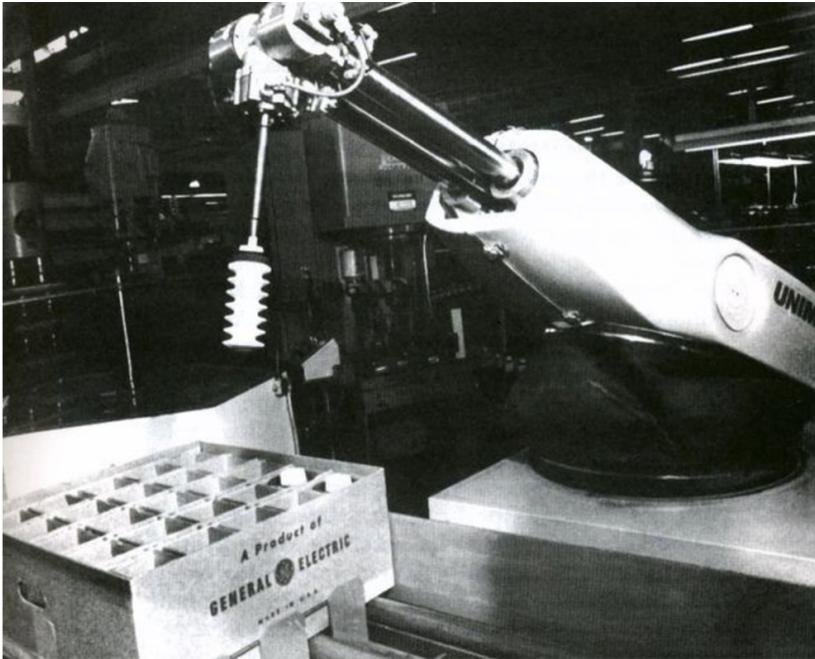
Ensamble del Modelo S, Fábrica de Tesla Motors, 2012. Fuente: Steve Jurvetson vía Flickr

producido por Hefesto cerca del 3500 a.E.C.<sup>11</sup> Por otro lado uno de los primeros instrumentos materialmente automatizados en la historia es la clepsidra o reloj de agua, introducido por los babilónicos cerca del 1400 a.E.C. Más tarde cerca del 1200 E.C. Al Jazari desarrolla una serie de máquinas automatizadas que por lo general servían para medir el tiempo, en algunas de sus creaciones incorporó humanoides articulados. Más tarde en el siglo XVIII tanto en Europa como en Asia se desarrollan autómatas tales como la familia de androides de Jaquet-Droz, con capacidades para dibujar, hacer música y escribir, o bien los autómatas de Jacques Vaucanson, quien construyó un autómatas flautista que podía tocar 12 canciones diferentes, también produjo un autómatas en forma de pato que podía agitar sus alas, beber agua, comer y defecar. En 1822 Charles Babbage crearía la Máquina Diferencial, descrita como una calculadora automática, con la capacidad de ser programada. En 1920 surge el término robot que está derivado de *robota*, palabra que significa labor subordinada en las lenguas eslavas, y se introdujo por primera vez en la obra teatral “Robots Universales de Rossum” de Karel Čapek.

En 1940 se sientan las bases éticas de interacción entre humanos y robots con las tres leyes fundamentales que el autor de origen ruso Isaac Asimov describe en el cuento “Círculo Vicioso”.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Antes de la Era Común

<sup>12</sup> Isaac Asimov, “Runaround”, (*Street and Smith Publications*, 1942)



Brazo robotizado Unimation #001, desarrollado por John Engelberger y George C. Devol en 1959.

- Una, un robot no puede hacer daño a un ser humano, o, por medio de la inacción, permitir que un ser humano sea lesionado.
- Dos, un robot debe obedecer las órdenes recibidas por los seres humanos excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la Primera Ley.
- Y tres, un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no sea incompatible con la Primera o la Segunda Ley.

En 1950 Alan Turing propone una estrategia para poder discernir entre máquina y humano en su artículo 'Maquinaria computacional e Inteligencia' un juego de imitación, donde al no poder conocer las características físicas de sus interlocutores, ni siquiera su voz, ya que la comunicación se hace por escrito, una persona que interroga tiene que poder distinguir entre un hombre y una mujer ubicados en otro compartimento, donde uno de estos dos últimos puede ser sustituido por una máquina.

En 1955 John McCarthy acuña el término 'inteligencia artificial' aunque hay registros sobre este concepto tan antiguos como del 380 a.E.C.<sup>13</sup>

En 1959 Joseph Engelberger y George C. Devol desarrollan el primer prototipo de robot, el Unimate #001<sup>14</sup>, con la incorporación de este robot

<sup>13</sup> John McCarthy Marvin Lee Minsky, Nathaniel Rochester y Claude Elwood Shannon, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence.(Hanover, New Hampshire: Dartmouth, 1955).

<sup>14</sup> Robotic Industries Association "A tribute to Joseph Engelberger" Disponible en: <https://www.robotics.org/joseph-eng-elberger/about.cfm> , fecha de consulta: 02.08.2019

en las líneas de ensamblaje de General Motors en 1961 y la obtención de la patente correspondiente por parte de Devol<sup>15</sup> crearon la compañía Unimation Inc. una subsidiaria de Condec Corp. propiedad de Engelberger. Entonces distribuyeron licencias de esta tecnología a Nokia de Finlandia y a Kawasaki Heavy Industries (ahora Kawasaki Robotics) de Japón, incidiendo en los mercados europeos y asiáticos respectivamente.

A partir de 1970 la robótica se extendió desde una ya sustanciada implantación industrial y puntualmente en la industria automotriz, hacia la industria en general, más en particular hacia productos de metal, químicos, electrónica y el sector alimenticio. Más tarde se expandiría fuera de las fábricas hacia aplicaciones de limpieza, rescate, trabajo submarino, actividad espacial y labores médicas.

En la década que da inicio en 1990 la investigación en robótica se impulsó hacia la implementación de robots para proveer de seguridad a humanos en ambientes peligrosos, para aumentar las capacidades y reducir la fatiga de los operadores, así se concibe entonces que esta tecnología habrá de incrementar la calidad de vida con la provisión de servicios. Este tipo de escenarios fuera de la industria, requirieron incrementar la capacidad de operar en un ambiente poco estructurado al tiempo que se aumentaba el nivel de autonomía en los robots.

Al inicio del nuevo milenio se transformaron los enfoques y las dimensiones de la robótica, de un enfoque predominantemente industrial, la robótica se había expandido hacia los retos del mundo humano, y es así como se volcó la robótica en favor de un antropocentrismo y se concibió como más próxima a las actividades cotidianas del hombre.<sup>16</sup>

### **Características de los robots y su industria**

En la actualidad los robots se clasifican por su tipo de actividad en: robots trabajadores, de servicio, de juego, de cuerpos civiles, militares, de búsqueda y rescate, médicos, exploradores de tierra y cielo, exploradores del espacio, submarinos y sociales.<sup>17</sup>

Por su apariencia pueden ser:

1. biomorfos sea que parezcan humanos, animales o en particular podrían parecer insectos, árboles u otra forma de vida preexistente;
2. mecanomorfos, robots con apariencia de máquinas o que presenten características mecánicas en su forma;

<sup>15</sup> George C. Devol, Programmed Article Transfer, United States Patent Office: 2988237, 1961. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6a/78/93/6b-7927856c9bee/US2988237.pdf>, fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>16</sup> Bruno Siciliano y Ussama Khatib, editores, *Springer Handbook of Robotics*, (Berlín: Springer-Verlag, 2016) 1-2.

<sup>17</sup> Brenna Maloney, editora, *Robotpedia*. (México, Panini, 2018).



Brazo robotizado de seis ejes Fanuc m 2000-1700I con eleva-autos.  
Fuente: Fanuc Corporation, 2008



Meca 500, brazo robotizado de seis ejes ultra-compacto.  
Fuente: Mecademic, Inc.2019

3. polimorfos, robots que pueden asumir diferentes formas; o
4. amorfos, sin forma predefinida.<sup>18</sup>

Por su talla hay aquellos que se miden en metros y otros tan pequeños que pueden operar con escasos nanómetros. Por su alcance de actuación, más allá de sus medidas y en particular si se trata de transportes automatizados pueden llegar a cubrir kilómetros.

Por el tipo de interacción en la arquitectura pueden presentar vinculaciones tales como: robot-arquitectura, robot-humano, robot-robot o bien robot-humano-arquitectura. Por actividad dentro de la arquitectura pueden ser robots para el diseño, para la fabricación, para la construcción o robots para la operación y ocupación de las edificaciones.

Pueden estructurarse con partes rígidas o blandas, de ahí que surjera la robótica blanda.

Los robots de trabajo pueden tener una estructura articulada en vertical, cartesiana, cilíndrica, en delta, polar o scara.<sup>19</sup>

Los brazos robotizados se pueden clasificar por el número de grados de libertad o ejes, de 2 a 10, siendo los más comunes los de 6 ejes.

<sup>18</sup> Mahesh Daas "Toward a Taxonomy of Architectural Robotics" en SiGraDi 2014 · Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics(-Montevideo, Sigradi, 2014) 623-626. [http://mahesh.org/articles/Robotics\\_Daas\\_SiGRADI2014.pdf](http://mahesh.org/articles/Robotics_Daas_SiGRADI2014.pdf) .

<sup>19</sup> RobotWorx, "RobotWorx a SCOTT company" Disponible en: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots> fecha de consulta: 02.08.2019.

Los brazos robotizados comerciales de seis ejes más grandes en la industria pueden manipular hasta 2300kg con 3.7m de alcance de radio<sup>20</sup> y pueden ser tan pequeños con medio kilogramo de carga útil y con 0.26m de alcance, con un peso de tan solo 4.5kg<sup>21</sup>

La venta de brazos robotizados es un negocio rentable, hay compañías que además de producir otro tipo de equipo, se han sumado a este segmento y otras que se dedican exclusivamente al rubro, según reporte de technavio, las diez compañías con más ingresos, productoras de brazos robotizados en 2017 son<sup>22</sup>:

1. ABB (ASEA Brown Boveri), fundada en 1883 con sede en Zurich Suiza, con \$6,900 millones de USD
2. Mitsubishi Electric, fundada en 1921 con sede en Tokio Japón, con \$11,970 millones de USD
3. B+M Surface systems, fundada en 1992, con sede en Eiterfeld Alemania, con \$4,400 millones de USD
4. Omron Adept, fundada en 1948, con sede en Kyoto Japón, con \$3,050 millones de USD
5. Fanuc, fundada en 1958, con sede en Oshino Japón, con \$1700 millones de USD
6. Yaskawa, fundada en 1915, con sede en Kitakyushu Japón, con \$1500 millones de USD
7. KUKA, fundada en 1898, con sede en Augsburg Alemania, con \$1400 millones de USD.
8. Edson robots, fundada en 1984, con sede en California EUA, con \$1400 millones de USD
9. Kawasaki, fundada en 1896, con sede en Wixom Michigan EUA, con \$1300 millones de USD
10. Staubli, fundada en 1893, con sede en Horgen Suiza, con \$1260 millones de USD

El impacto de las ventas de brazos robotizados en específico es posible entenderlo conforme al número de brazos instalados, de acuerdo a la última actualización al inicio de 2018 de *Robotics and Automation News*, las catorce compañías reportadas con más brazos robotizados instalados son:

<sup>20</sup> Ver Fanuc M 2000 iA/2300 en FANUC Iberia, S.L.U., "Fanuc" Disponible en: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-2000/m-2000ia-2300> fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>21</sup> Ver Mecademic Meca 500 R3 en Mecademic, Inc., "Mecademic" Disponible en: <https://mecademic.com/products/Meca500-small-robot-arm> fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>22</sup> Infiniti Research Limited, "Top 21 Industrial Robotics Companies in the World 2019" Disponible en: <https://blog.technavio.com/blog/top-21-companies-in-the-industrial-robotics-market> fecha de consulta: 02.08.2019.

1. Fanuc – 400,000
2. Yaskawa – 360,000
3. ABB – 300,000
4. Kawasaki – 110,000
5. Nachi – 100,000
6. Denso – 95,000
7. Kuka – 80,000
8. Mitsubishi – 70,000
9. Epson – 55,000
10. Stäubli – 45,000
11. Foxconn – 40,000
12. Comau – 30,000
13. Omron / Adept – 25,000
14. Universal – 25,000

Ahora bien, sabemos que los brazos instalados tienen una diversidad de aplicaciones importantes, de acuerdo con Robotworx las aplicaciones de los robots en la industria se dividen principalmente en tres grupos:

- 1. Robots de soldadura:** de soldadura por arco, de soldadura de haz de electrones, de soldadura con núcleo fundente, de soldadura láser, de soldadura MAG, de soldadura MIG, de soldadura orbital, de soldadura de oxiacetileno, de corte por plasma, de soldadura por plasma, de soldadura por resistencia, de soldadura de arco metálico protegido, de soldadura por puntos, de soldadura por arco sumergido, de soldadura TIG de soldadura TIP / TIG o bien Robots de automatización de soldadura
- 2. Robots para manejo de materiales:** colaborativos, dispensadores, de moldeo por inyección, de carga de máquina, que atienden máquinas, de manejo de materiales, de recogida de pedidos, de empaque, de paletizado, de transferencia parcial, de recoger y dejar, de tendido en prensa, de visión
- 3. Robots de otro tipo de aplicaciones:** de visión láser 3D, de automatización de electrodomésticos, de ensamblaje, de acoplado/sellado, de limpieza, de revestimiento, de corte, de desbarbado, de perforación, de corte de fibra de vidrio, de fundición, de molienda, de corte por láser, de eliminación de material, de automatización de procesamiento de carne, de fresado, de pintado, de pulido, de repostaje de combustible, de calado, de lijado, de herramientas de rotación, de aspersion térmica y de corte por chorro de agua<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Robotworx, "Industrial Robot Applications" Disponible en: <https://www.robots.com/>



Gramazio & Kohler Architects, Zürich. Fachadas de la bodega Gantenbein 2006. Fotografía de Ralph Feiner

### Experiencias con fabricación digital

Pese a que se han hecho esfuerzos para incorporar brazos robotizados en la industria de la construcción desde la década que diera inicio en 1980. La primera incorporación de un brazo robotizado en la arquitectura de la que tenemos noticia, se hace con el desarrollo de un ejercicio de una asignatura selectiva llamado *'The oblique hole'* con lo cual se buscaba hacer perforaciones oblicuas en un poliedro irregular, de modo que solo podría hacerse con precisión a través de un brazo robotizado, esta experiencia la llevaron a cabo en 2005 Fabio Gramazio y Matthias Kohler, incorporando así por primera vez un brazo robotizado en el proceso de un experimento académico en la arquitectura. Más tarde, en 2006, con las Fachadas de la Viña de Gantenbein demostrarían ellos mismos, que los brazos robotizados no solo son capaces de replicar la labor humana, sino que son capaces de llevar a cabo estrategias que están fuera del alcance de la labor humana misma.

En 2010 los ganadores del concurso del Foro de Arquitectos Jóvenes en Atlanta, *Matter Design* en colaboración con *Supermanoeuvre*, habían logrado abatir las demandas del concurso que exigía una propuesta en un lote de ~ 3m x 3m que se pudiera construir en menos de 24h con un presupuesto inferior a los \$5000USD, esto lo lograron al desarrollar un 'Periscopio' de poliestireno expandido que se fabricó con los brazos robotizados de la Escuela de Arquitectura *Taubman College* de la Universidad de Michigan. También en 2010 se desarrolló el Laboratorio de Fabricación Robotizada dentro del Centro ETH de Singapur como parte del primer programa de investigación establecido, el *Future Cities Laboratory*.



Matter Design con Supermanoeuvre, "Periscopio". Torre de bloques espumados, Atlanta, Georgia, EUA. Fotografía de Brandon Clifford

applications fecha de consulta: 02.08.2019.



Achim Menges y Jan Knippers, Pabellón de Investigación ICD/ITKE, Universidad de Stuttgart, 2011



RDM Vault, Matthias Rippman, Silvan Oesterle y Jelle Feringa. Odico, 3D snijden van EPS. Fuente: Odico.

En 2011 la Universidad de Stuttgart a través de los institutos ICD e ITKE con un grupo coordinado por Achim Menges, había producido un pabellón cuyas partes habían sido fabricadas por un KUKA KR 125/2 equipado con un spindle HSD ES 350, una fresa Leitz 20/120 Z4 y una mesa giratoria KPF1-V500V1.<sup>24</sup>

En 2012 Matthias Rippman y Silvan Oesterle<sup>25</sup> coordinaron la construcción de una bóveda de piezas de poliestireno expandido, la 'Bóveda RDM', con piezas fabricadas por corte de filamento caliente con dos brazos robotizados ABB IRB6400, las partes fueron superpuestas y terminadas con fibra de vidrio y *acrylic one* para proteger la espuma, esto como producto de un workshop en las instalaciones del taller de Hyperbody TU Delft en Rotterdam.

Para 2012 se había reportado la incorporación de brazos robotizados en una veintena de escuelas de arquitectura alrededor del mundo.

A este punto en el encuentro de *Robots in Architecture* de 2012 se habían sumado las siguientes universidades quienes ya contaban con brazos robotizados y serían las encargadas de impartir los talleres del encuentro: *ETH Zurich, University of Stuttgart, TU Delft, TU Vienna, TU Graz, Harvard GSD y Sci Arc*. En el material publicado producto de dicho encuentro también participaron académicos de: *Carnegie Mellon University, IAAC, TU Dortmund, University of Southern Denmark, MIT, Virginia Tech, University of Michigan, Princeton, CTU Prague, University of Technology Sydney* y de la *Aarhus School of Architecture*.<sup>26</sup>

Desde entonces se han desarrollado experiencias con brazos robotizados en diferentes partes del mundo, persiguiendo nuevos objetivos, ensayando con diferentes materiales y en particular se ha puesto interés en la variación de los efectores finales o herramientas de punta, uno de los aspectos con mayor apertura a la exploración dentro de la fabricación robotizada aplicada a la arquitectura.

## Herramientales

A este respecto hemos tenido la oportunidad de tener nuestras primeras experiencias a partir de la actividad de investigación y aprendizaje del Laboratorio de Arquitectura + Diseño y Tecnología Experimental (LATE) de la Facultad de Arquitectura de la UNAM<sup>27</sup> el cual está en proceso

<sup>24</sup> Achim Menges, "Morphospaces of Robotic Fabrication", en *Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design*, Sigrid Brell-Cökcän y Johannes Braumann, editores. (Viena: Springer-Verlag, 2013) 38.

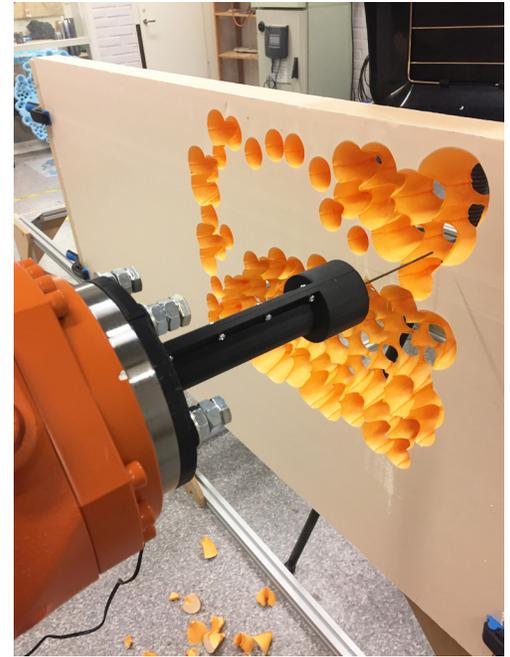
<sup>25</sup> Jelle Feringa, "Hyperbody Archive" Disponible en: <http://www.hyperbody.nl/about/news/news/indexef1f.html>, fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>26</sup> Sigrid Brell-Cökcän y Johannes Braumann, editores *Rob/Arch 2012: Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design*. (Viena: Springer-Verlag, 2013) 316-319.

<sup>27</sup> Universidad Nacional Autónoma de México.

de incorporar tecnología robótica. Hemos participado en algunas experiencias con brazos robotizados con tres aplicaciones experimentales diferentes. En la primera experiencia participamos en un Workshop en la Universidad de Chalmers en Gotemburgo en 2018 en el encuentro bianual de *Advances in Architectural Geometries*, donde usamos una herramienta fijada a un brazo Kuka KR150, esta herramienta contaba con una base impresa en 3D y una barra caliente de unos 15cm de longitud capaz de calar y cortar bloques de poliestireno extruido desde el centro, mismos que se fijaban temporalmente en posición vertical a un bastidor de madera dentro del alcance del brazo robotizado para su procesamiento. El modo para determinar que cortar incluyó primero, a partir de la interfaz de programación gráfica *Grasshopper*, establecer una silueta para delimitar el perímetro de una superficie simulada a modo de losa, donde se añadieron virtualmente cargas y apoyos procesados con el plugin *Millipede*, a través del cual se generaron líneas de estrés con base en las fuerzas que interactúan en el sistema, de modo que contribuyeron a concebir que volumen del tablero debía respetarse y cual podría extraerse. El plugin usado para la manipulación del brazo desde *Grasshopper* fue *Hal Robotics*. Con este ejercicio fue posible ensayar sobre las necesidades materiales que tiene un sistema sometido a diferentes fuerzas para reducir volumen y peso conforme a una simulación paramétrica que permite reajustar las condiciones del sistema simulado, con tan solo esperar algunos segundos de procesamiento. Por otro lado, este ejercicio permitió comprobar algunas variables previstas en el sistema al fabricar el producto con el procesamiento robotizado.<sup>28</sup>

El segundo herramental usado en otra experiencia, consideraba una pistola de aspersión de pintura y un aerógrafo como efectores finales en un brazo robotizado ABB IRB 6700 en el contexto de la participación en un workshop en Acadia 2018 en nuestras instalaciones en la UNAM, el herramental requería de una compresora complementaria que se conectó procurando liberar la ductería adicional fuera del campo de actuación del brazo robotizado. Se fabricó una muro móvil de alrededor de 2.5m de alto y ancho a modo de lienzo que permitía ajustar la proximidad con el herramental para procurar una distancia óptima de aspersión misma que incidió en la resolución del producto final. La configuración del producto final previsto, provenía de un proceso complejo donde inicialmente se ajustaban valores en un script que permitía visualizar redes neuronales. A partir de la interpolación de algunos valores en este script se buscó desarrollar una variación en serie de las mismas redes neuronales que servirían para alimentar un sistema de aprendizaje de



Corte con barra caliente. Workshops AAG 2018, Gotemburgo, Suecia. Fotografía del autor

<sup>28</sup> *Advances in Architectural Geometries 2018, Workshop 16: Data-driven Robotic Carving (DRC)*, tutores: Eva Magnisali y Ed Tibuzzi, 22-23.09.2018, Chalmers University of Technology, Gotemburgo, Suecia.



Aspersión de pintura. Workshops Acadia 2018, CDMX, México. Fotografía del autor Pinzas de agarre. Workshop Anáhuac 2019,

máquina que nos daría a cambio otra red neuronal nueva, desarrollada por un servidor remoto, el producto procuraba una serie de valores que podían ingresarse a través de un archivo *.json* en *Grasshopper* desde donde se pudo configurar el movimiento del brazo robotizado al usar una definición en *Grasshopper* junto con *Machina*, un plugin de operación robótica.<sup>29</sup>

En una tercera experiencia, desarrollamos una propuesta a partir de la participación en un workshop con la Universidad Anáhuac en 2019, donde el herramental principal fue un *grripper* o pinza de agarre de extensiones paralelas con 40N de fuerza, mismo que adaptamos con extensiones conforme al tipo de pieza con la que armamos, el armado de la propuesta completa estaba prevista para un día de armado y buscaba aprovechar el mayor alcance que nos permitía un brazo Kuka KR150. El proyecto constó de un ensamble escalonado con 32 piezas superpuestas que seguían un arco en planta, la sección de arco en planta se iba reduciendo a partir del centro del radio conforme avanzaba la pieza en altura, esto con la intención de generar una sección de domo a partir de piezas no acopladas, ni química, ni mecánicamente. El proceso partió de una definición en *Grasshopper* que determinaba las piezas, la curva, etc. y con el uso del plugin *KUKA PRC* se controló la operación del brazo

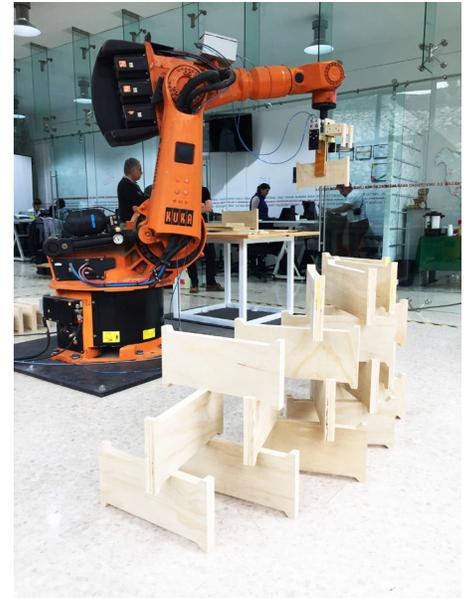
<sup>29</sup> Acadia 2018, Workshop 01: Talk to a Wall, tutores: Alicia Nahmad, José Luis García del Castillo y López, Vishu Bhooshan y Cristóbal Valenzuela, 15-17.10.2018, sede: Muca Campus UNAM, organiza: UIA, Ciudad de México.

robotizado. Todas las piezas fueron producidas por una fresadora de control numérico cortadas a partir de tableros de triplay dobles, acoplados previo a su corte y apilado.<sup>30</sup>

En estas experiencias hemos notado que los procedimientos requieren además de la configuración del proyecto mismo, de la configuración de bastidores, particiones y espacios que el brazo robotizado debe considerar para su manipulación y correcta puesta en marcha, hay que considerar variables que no son visibles a simple vista, como la inclinación del piso, el espesor y largo de las brocas disponibles, el tiempo y la velocidad de corte continuo con una barra caliente, la necesidad de operar en baja velocidad en virtud de configurar pocas medidas de seguridad, entre otras. Más de la mitad de la labor en estas experiencias tiene que ver con labores manuales y la gran mayoría del tiempo aún se emplea en la configuración y calibración del producto y su correspondiente entorno de producción. Los procesos pese a incidir en tareas de automatización aún tienen un camino largo por recorrer antes de ser verdaderamente automatizados.

Conforme a incrementos en la complejidad del sistema, las variables que intervienen, y el tipo de procesos necesarios, se debe considerar una diversidad de complementos de herramientas, insumos, plazos, ajustes y calibraciones necesarias. Sobre todo si se ha de considerar el desarrollo de piezas tan complejas como aquellas de algunas experiencias que han llevado a cabo en la Universidad de Stuttgart, como el pabellón de investigación de 2016-17 del ICD/ITKE, donde se intercambiaba un carrito con una fibra especial de un brazo robotizado a otro usando un dron que desarrollaron ellos mismos para cumplir con sus necesidades, o bien los carros robotizados de otra experiencia que se mantienen adheridos a un muro por un flujo de aire que genera succión, esto es, para llevar fibra a su anclaje, contribuir a su entramado y así poder tejer desde diferentes lugares, o como la experiencia del transportador robotizado de fibra que corre por un filamento para pasar constantemente de un lado a otro, transfiriendo fibra a otros carros de succión nuevamente para entretejer una malla orgánica un tanto original.

Otra experiencia dedicada con desarrollo tecnológico automatizado especializado, es el caso de los *fiberbots* o fibrobots que propone Neri Oxman desde el MIT, con un proyecto que se materializó a partir de un conjunto de robots que cuentan con una cámara neumática que se infla para fijarse a una sección de ducto, para luego añadir más fibra rodeando su perímetro extendiendo la longitud del ducto, esto se hace al tiempo que se ilumina con luz ultravioleta para endurecer las fibras

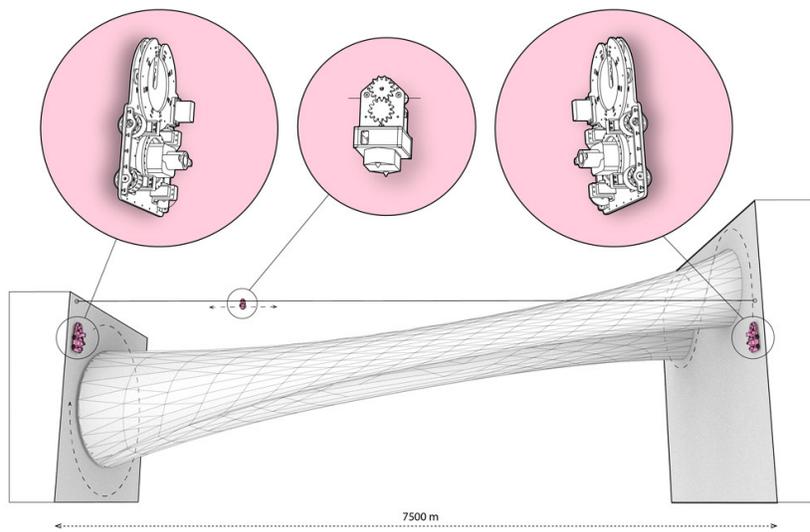


Pinzas de agarre. Workshop Anáhuac 2019, CDMX México. Fotografía del autor

<sup>30</sup> Anahuac Workshop, Collaborative Robotic Timber Assembly, tutores, Kyriaki Goti y Erik Martínez, 01-06.07.2019, Fablab 2.0 Universidad Anáhuac, Campus Norte.



Achim Menges y Jan Knipper. Pabellón de Investigación ICD ITKE 2016-17, Universidad de Stuttgart, 2017. Fotografía de Burggraf / Reichert



Maria Yablonina. Diagrama del MoRFES\_01: Mobile Robotic Fabrication Eco-System, 2017. ICDITKE, Universidad de Stuttgart. Fuente:



Neri Oxman. Fibrobots (fiberbots), 2018. Fuente: The mediated matter group, MIT

que deposita, de modo que construyen su propia conducción para continuar desarrollando cada ducto con algunos quiebres controlados en un ascenso independiente aunque en conjunto los ductos generan un entramado de mayor proporción.

La diversidad de herramientas es común entre los brazos robotizados tales como las pinzas, taladros, cortadores de filamento caliente, inyector de plástico, cerámica o concreto; soldadores; copas de succión; motosierras; etc. Además de herramientas complementarias tales como rieles o ejes externos y cambiadores de herramientas robóticas<sup>31</sup>

En general se prevé un uso intensivo y conjugado de tecnologías que puedan operar como con el grupo de 958 drones que usaron de modo coordinado en la portada especial de la revista Time<sup>32</sup> para coordinar a futuro el desarrollo de mayor actividad en los trabajos de construcción. Además de esta línea de automatización principalmente operada por brazos robotizados y artefactos productivos autónomos, hay otras líneas de automatización que se desarrollan con otro tipo de robots.

### Diversidad en robots productivos

Más allá del desarrollo paralelo que se ha dado con tecnologías que permiten la operación automatizada de viviendas, u otras que permiten la operación de vehículos autónomos, la maquinaria operada en la industria de la construcción, un ramo que ha tardado en acoger la robótica, hoy recibe un impulso en favor de la operación de maquinaria con un mayor índice de autonomía, y es esa, justo la línea que separa a los robots de las máquinas comunes. Hay que considerar que pese a que casi todos los robots son máquinas<sup>33</sup>, no todas las máquinas son robots, y que a su vez hay muchas versiones de robot. Otra característica fundamental que nos ayuda a distinguir entre uno y otro es que los robots tienen la capacidad de ser programados y reprogramados para llevar a cabo tareas complejas o difíciles de operar.

*Odico formwork robotics*, una empresa que desarrolla moldes a gran escala desde 2012, emplea brazos robotizados para el desarrollo de estas geometrías complejas que puede modelar con cortadores de filamento caliente con agilidad y precisión, además opera con otras tecnologías similares para el mismo fin. Buscan ser proveedores de

31 ATI Industrial Automation, "Tool Changer Modules", disponible en: [https://www.ati-ia.com/es-MX/products/toolchanger/tool\\_changer\\_modules.aspx](https://www.ati-ia.com/es-MX/products/toolchanger/tool_changer_modules.aspx) fecha de consulta: 02.08.2019.

32 Günseli Yalcinkaya, "Time magazine recreates iconic cover using 958 drones", disponible en: <https://www.dezeen.com/2018/06/04/time-magazine-recreates-iconic-cover-using-958-drones/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

33 Hay scripts de programación que carecen de materialidad o mecanismo físico alguno que se les llama robots, estos no pueden ser considerados máquinas.



Odico, Factory on the fly, en Odeon, 2017.  
Fuente: Odico vía facebook

esta tecnología en sitio, al acercar el proceso a las obras con *Factory on the fly*, un modelo de contenedor en venta, que contiene los elementos necesarios para fabricar in situ, en especial el actuador robótico. El contenedor puede llevar a cabo procesos industriales similares a los que ofrece en taller. *Odico* tiene capacidad de fabricación en fresado de hasta 24 metros de ancho. Llevan a cabo colaboraciones tales como el desarrollo de corte con cuchilla caliente con brazo robotizado para configuración de moldes, proceso desarrollado en colaboración con la Universidad Técnica de Dinamarca, en particular con el departamento de Mecánica y el de Cómputo, el Instituto Danés de Tecnología, *Confac A/S* y *3XN Architects/GXN Innovation*.<sup>34</sup>

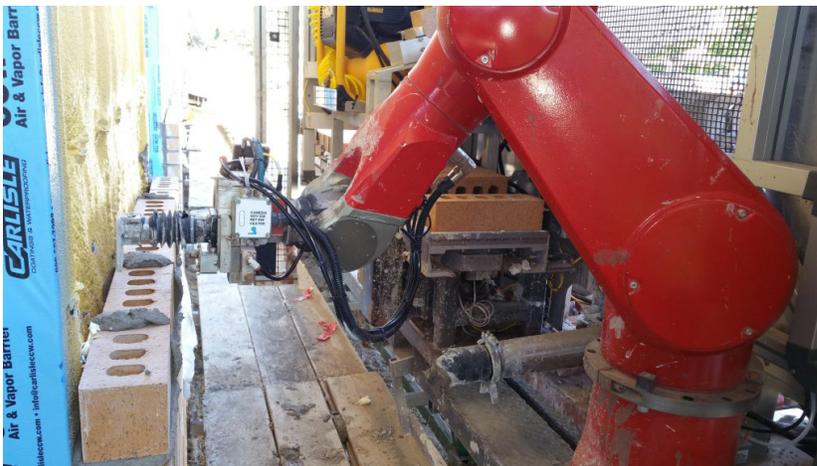
*Fast brick robotics*, empresa australiana señala haber desarrollado el primer robot comercial para levantar muros de ladrillo, el *Hadrian 105* sistema basado en una patente cuyo año de registro es 2012<sup>35</sup>. Este sistema puede levantar varios muros en paralelo sin cambiar la posición origen de la maquinaria principal ya que tiene un alcance amplio al usar una pértiga extendida a partir de la cual cambia la posición para colocar y sirve como alimentador de ladrillos, usa un par de dosificadores de adhesivo químico. Adicionalmente han desarrollado el sistema *Hadrian X*, capaz de colocar ladrillos para una casa completa, que además de asistir en la colocación de refuerzos horizontales, se regula con sensores láser que rectifican la ubicación del instrumento de colocación

34 Odico, "Odico Construction Robotics", disponible en: <https://www.odico.dk/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

35 Mark Joseph Pivac y Michael Barrington Wood, *Automated Brick Laying System for Constructing a Building from a Plurality of Bricks*, United States Patent Office: 8166727 B2, 2012. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/34/11/0f/473cf083b8162a/US8166727.pdf>, fecha de consulta: 02.08.2019.



Fast build robotics, Hadrian X, robot de colocación de ladrillo, 2016. FBR Ltd.



Construction Robotics. SAM 100, Sistema automatizado de colocación de ladrillos.

de ladrillo, mismo que se mantiene relativo al suelo y no a la pértiga robotizada. El sistema se compacta en un camión y es capaz de recibir dos lotes de ladrillo paletizado dentro del mismo camión desde el cual se despliega la maquinaria.<sup>36</sup>

Por otro lado *Construction robotics*, también señala haber desarrollado un primer robot comercial para levantar muros de ladrillo, diferente de aquel de *Fast brick robotics*, el SAM 100 cuyo acrónimo proviene de Albañil semi automatizado (en inglés *Semi-Automated Mason*) es un sistema basado en la patente con registro en 2015<sup>37</sup>, este, actúa a partir de un brazo robotizado montado sobre rieles guía donde se vincula con

<sup>36</sup> FBR Ltd., "Our story", disponible en: <https://www.fbr.com.au/view/our-story>, fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>37</sup> Scott Lawrence Peters, Nathan Podkaminer y Thomas Charles Coller, Brick Laying System, United States Patent Office: 8965571 B2, 2015. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1b/26/ce/db4c668a5963d/US8965571.pdf>, fecha de consulta: 02.08.2019.



un dispensador de ladrillos y un dosificador de mezcla a base de mortero como adhesivo para su colocación. También han desarrollado la 'Mula' o Unidad de apoyo en la carga de material (MULE · *Material Unit Lift Enhancer*) el cual se configura como un sistema de asistencia de carga de piezas de hasta poco más de 60kg.<sup>38</sup>

Otro robot que además de colaborar con el operario, replica sus movimientos, es el *Guardian GT* de *Sarcos Robotics*, este sistema puede

<sup>38</sup> Construction Robotics, "MULE", disponible en: <https://www.construction-robotics.com/mule/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

contar con uno o dos brazos robotizados con un sistema multiplicador de fuerza, con una capacidad de carga de más de 150kg, puede mover y colocar elementos pesados en la obra.<sup>39</sup>

En el segmento del acero de refuerzo *Advanced Construction Robotics* introdujo en 2017 el *Tybot*, una solución que amarra varillas de refuerzo y que ha sido probado en un puente en Pennsylvania, una suerte de pantógrafo bidimensional de grandes proporciones.<sup>40</sup> Los robots también han entrado en la industria de la construcción en la forma de vehículos autónomos, algunos equipados con cámaras de alta definición y con sensores que les permiten navegar por la obra, y así son capaces de evadir obstáculos. La firma francesa de robótica *Effidence* desarrolló *Effibot* en 2009, un vehículo autónomo que puede seguir a los trabajadores cargando herramientas y materiales, también se ofrece como una solución para abatir la última milla en esquemas de repartición.<sup>41</sup>

Un vehículo autónomo aún más avanzado es el *Doxel* lanzado en 2018 el cual usa cámaras de alta definición y tecnología de sensores LIDAR (Light Imaging, Detection and Ranging) que le permiten llevar a cabo inspecciones en las obras, se propone para revisiones en sistemas mecánicos, eléctricos e hidrosanitarios, esta tecnología no solo permite observar si el sistema está instalado, sino también si está dentro de criterios y tolerancias.<sup>42</sup>

El vehículo autónomo de volcado de *Volvo*, el HX1[25] y su consecuente evolución presentada en 2017 el HX2, es eléctrico, calcula su propia ruta y mantiene un nivel de precisión de 20 cm<sup>43</sup> y también en el segmento de movimiento de tierra, está la maquinaria autónoma de *Built Robotics*, quienes cuentan con modelos de excavadora, *bulldozer* y minicargadora mismos que permiten la excavación y el movimiento de tierra sin conductor.<sup>44</sup>



Effidence. Effibot, robot de carga y seguimiento automatizado, 2016. Fuente: Effidence

39 Sarcos Corp., "Guardian GT", disponible en: <https://www.sarcos.com/products/guardian-gt/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

40 Tybot LLC, "The Autonomous Rebar-Tying Robot", disponible en: <https://www.tybotllc.com/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

41 Effidence, "Effidence, Intelligence pour la robotique" disponible en: <https://www.effidence.com/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

42 Doxel Inc., "Artificial Intelligence for Construction Productivity", disponible en: <https://www.doxel.ai/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

43 Volvo, "Electric load carrier concept wins prestigious global award", disponible en: <https://www.volvoce.com/global/en/news-and-events/press-releases/2017/electric-load-carrier-concept-wins-prestigious-global-award/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

44 Built Robotics Inc., "We are building the future of construction", disponible en: <https://www.builtrobotics.com/>, fecha de consulta: 02.08.2019.



Volvo, HX02, vehículo autónomo de volcado de material, 2018. Fuente: AB Volvo, Construction Equipment Global



Doxel, vehículo autónomo de inspección en obra, 2018. Fuente: Doxel Inc.



Husqvarna. Robot de demolición DXR 310, 2018. Fuente:Husqvarna AB

Por otro lado, existen otras herramientas robotizadas para demolición como aquellas de Husqvarna, con pinzas de recogida, cortadores de acero, palas, martillos neumáticos y pinzas trozadoras que pueden ser intercambiadas en cuerpos con diferentes alcances.<sup>45</sup>

### **Incorporación productiva**

El proceso de incorporación de maquinaria robotizada no fue instantáneo, por el contrario, ha sido gradual y un tanto natural en la industria, ya que en el siglo XX fue natural el uso de herramientas hidráulicas y electromecánicas, tales como compresoras, taladros, vibradores de concreto y bailarinas, a finales del siglo XX se agudizó el uso de instrumentos electrónicos de medición, nivel, detectores de metales, o bien estaciones meteorológicas que arrojan información útil para la obra. En este siglo se han añadido los levantamientos por escáner 3D, levantamientos por dron, integración de topografías por fotogrametría además de las tecnologías anteriormente mencionadas. El avance entre diferentes contextos es mediado por la inversión que cada país tiene en cuanto a investigación e innovación, además de la política educativa y el impulso empresarial entre otras variables implicadas, cada contexto predispone así una mayor o menor integración tecnológica.

<sup>45</sup> Husqvarna AB, "Remote workmates ready to tackle your heaviest, most challenging jobs", disponible en: <https://www.husqvarnacp.com/au/machines/demolition-robots/#navigationProducts> fecha de consulta: 02.08.2019.

## ¿Qué sigue?

De acuerdo al reporte del índice de preparación para la automatización los cinco países más preparados son Corea del Sur, Alemania, Singapur, Japón y Canadá. El índice toma en cuenta la política gubernamental en favor del progreso tecnológico, la creación de nuevos negocios, el desarrollo de habilidades y políticas que contribuyan a la transición en el mercado laboral. Las políticas se clasifican en tres categorías: entorno de innovación, políticas educativas y políticas del mercado laboral. El reporte también señala las diferencias entre los países con un ingreso alto, medio y bajo, en particular observa que aquellos países con ingresos bajos y con una economía basada predominantemente en agricultura no padecerán una lenta incorporación en la carrera por la automatización en la manufactura, a diferencia de aquellos con un ingreso medio y una economía con una gran base de trabajo en manufactura.

En cuanto al desplazamiento laboral, se calcula que en los Estados Unidos de América habrá hasta un índice del 47% de desplazados<sup>46</sup>, mientras que en otros países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos OCDE, tendrá un impacto alrededor del 9%<sup>47</sup>, Alan Manning, economista británico, señala que el desplazamiento en trabajos de inteligencia artificial, robótica y otros temas de automatización no tendrán un desplazamiento resultante, ya que se crearán tantos trabajos nuevos como aquellos que pudieran ser desplazados con anterioridad. James Bessen profesor de economía de la Universidad de Boston confía en que se crearán más empleos que los que se perderán.

Erik Brynjolfsson del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) resalta a partir de un análisis de estadísticas que la productividad ha crecido a un nivel histórico y que la innovación es más rápida que nunca, aunque el crecimiento de empleos ha empezado a estancarse y la tecnología avanza tan rápidamente que las organizaciones no pueden adaptarse al cambio y muchos trabajadores no consiguen actualizar sus destrezas.<sup>48</sup>

46 Un planteamiento ético recurrente que emerge sobre la sustitución de obreros por robots, debería ser resuelto con un esquema donde se incorporen los mismos obreros a tareas que permitan generar mayor número piezas producidas y por ende mayor número de viviendas, si la producción incrementa, se podrían abaratar los precios, podría incluso incrementar las ganancias, de modo que el desplazamiento de humanos causado por la incorporación de robots no tenga el impacto previsto, al contrario los obreros podrían escalar en habilidad técnica en la operación, mantenimiento o reparación de los robots, cuestión que les permitiría crecer y desarrollarse en términos económicos.

47 Melanie Arntz, Terry Gregory y Ulrich Zierahn, *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries* (Paris: OECD Publishing, 2016) disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/5jl-z9h56dvq7-en>, fecha de consulta: 02.08.2019.

48 Max Seitz, *Qué países tienen más robots en sus fábricas y cuán cierto es que nos está robando los puestos de trabajo* (BBC, 2017), <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39267567> fecha de consulta: 02.08.2019.

En el índice de preparación para la automatización se citan cuatro países de Latinoamérica: Argentina, Brasil, Colombia y México con un nivel de maduración emergente. En la lista de los 15 países con mayor incorporación de robots industriales, China ocupa el primer puesto con 133,200 unidades compradas en 2018, en Latinoamérica solo aparece México con el noveno puesto con una participación de 5900 unidades.

El crecimiento total mundial de robots promedio de la última década (2008-2018) es de 18.49% por año<sup>49</sup>, en 2017 la proporción más elevada de autómatas en la industria de manufactura se situó en Corea del Sur con 710 por cada 10,000 trabajadores, mientras que el promedio mundial era de 85 por cada 10,000 trabajadores<sup>50</sup>. Si consideramos además el incremento de productividad cuando se incorpora un robot, es posible pensar que continuará incrementando el número de robots en diferentes industrias, y más que se trata de una economía que generó más de \$48,000 millones de dólares ese año.<sup>51</sup>

La aplicación de robots se seguirá extendiendo en función de los beneficios que ofrecen, además que existen tareas repetitivas, intrascententes o extrahumanas que los trabajadores no quieren o pueden desarrollar, es posible que este tipo de tareas se amplíe, con tareas tales como el mantenimiento automatizado de robots que aún no existen.

Hay actividades que se llevan a cabo y que podrán hacerse más fáciles o precisas por robots colaborativos o cobots. Los robots, son robots que colaboran con trabajadores en procesos de producción, cuando se trata de brazos robotizados, estos han de ser ligeros, y deberán tener sensores que cuando encuentren una obstrucción detengan su actividad de modo que provean seguridad en el trabajo colaborativo y directo con los trabajadores. *Universal robots*<sup>52</sup> desarrolla soluciones en este sentido, desde hace tiempo mientras que una empresa china *Elephant*<sup>53</sup>, se suma al trabajo justo de este segmento. Este tipo de robots son útiles para el proceso de enseñanza-aprendizaje y la investigación.

La penetración de robots en tareas de mayor complejidad se irá dando conforme a la incorporación de sistemas de desplazamiento, mejores estrategias de teleoperación, integración de sensores que permitan el reconocimiento del entorno e inteligencia artificial que den lugar a la

49 International Federation of Robotics, World Robotics 2019 Preview, (IFR, 2019), [https://ifr.org/downloads/press2018/IFR\\_World\\_Robotics\\_Outlook\\_2019\\_-\\_Chicago.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_World_Robotics_Outlook_2019_-_Chicago.pdf), fecha de consulta: 02.08.2019.

50 International Federation of Robotics, Executive Summary World Robotics 2018, (IFR, 2018), [https://ifr.org/downloads/press2018/Executive\\_Summary\\_WR\\_2018\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf), fecha de consulta 02.08.2019.

51 Ibid

52 Universal Robots A/S, "Universal Robots", disponible en: <https://www.universal-robots.com/es/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

53 Elephant Robotics "Elephant Robotics", Disponible en: <http://www.elephantrobotics.com/en/>, fecha de consulta: 02.08.2019.

ejecución de estrategias de actuación por parte de los robots con base en aprendizaje de máquina producto de los antecedentes previamente registrados en situaciones similares. Se espera también que se establezca un marco jurídico que permita monitorear 24h al día y 7 días a la semana las obras con drones, para elaborar reportes ante los gerentes de obra. Más adelante en la década que inicia en 2020 se prevé que se comenzará a incorporar maquinaria guiada por inteligencia artificial de forma progresiva hasta superar la cantidad de labor humana, con lo que se espera contribuir con una significativa reducción de tiempos de obra y accidentes laborales.

Si consideramos que la productividad en la construcción ha caído 50% desde 1970, y pese a que el aumento en el precio de la obra terminada suele señalarse como efecto de la inflación, hoy en día cualquier edificación cuesta el doble que hace 40 años.<sup>54</sup> La robótica podrá aquí buscar incidir con una mayor productividad y una eventual disminución de costos.

## Conclusión

Por tanto podemos concluir que la metodología para operar brazos robotizados se ha ampliado y es accesible, que los países que producen manufactura continuarán incrementando su número de brazos robotizados, que en Latinoamérica hay potencial de automatización aunque aún necesita madurar y que esta tecnología entre más pronto se potencie mejor incidencia económica podrá tener en cada contexto, que el aprendizaje en su manejo se ha de actualizar constantemente y hay que acercarlo a los futuros gestores y operadores de las industrias donde más se usa y también a aquellas donde se vislumbra su uso, que esta tecnología ha penetrado en las escuelas de arquitectura y que promete tal como en el museo de ciencia robótica de Seúl<sup>55</sup>, que la arquitectura se fabricará con drones y brazos robotizados entre otras tecnologías automatizadas en un futuro cercano.

Es tiempo de robótica en la arquitectura.

<sup>54</sup> McKinsey & Company, *Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity* (McKinsey Global Institute, 2017) <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx> fecha de consulta: 02.08.2019.

<sup>55</sup> India Block, "Robot Science Museum in Seoul will be built by robots and drones", disponible en: <https://www.dezeen.com/2019/02/20/robot-science-museum-melike-al-tinisik-architects-maa-seoul/> fecha de consulta: 02.08.2019.

## Referencias

- ARNTZ, Melanie, Terry Gregory, y Ulrich Zierahn, *The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries* Paris: OECD Publishing, 2016 disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en> , fecha de consulta: 02.08.2019
- ASIMOV, Isaac, "Runaround", (Street and Smith Publications, 1942)
- ATI Industrial Automation, "Tool Changer Modules", disponible en: [https://www.ati-ia.com/es-MX/products/toolchanger/tool\\_changer\\_modules.aspx](https://www.ati-ia.com/es-MX/products/toolchanger/tool_changer_modules.aspx) fecha de consulta: 02.08.2019
- BLOCK, India, "Robot Science Museum in Seoul will be built by robots and drones", disponible en: <https://www.dezeen.com/2019/02/20/robot-science-museum-melike-altinisik-architects-maa-seoul/> fecha de consulta: 02.08.2019
- BRELL-COKCAN, Sigrid y Johannes Braumann, "Association for Robots in Architecture" Disponible en: <https://www.robotsinarchitecture.org/map-of-creative-robots> fecha de consulta:02.08.2019
- BRELL-COKCAN, Sigrid y Johannes Braumann, "Robarch 2012, Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design" Disponible en: <http://www.robarch2012.org/conference> fecha de consulta:02.08.2019
- BRELL-COKCAN, Sigrid y Johannes Braumann, editores *Rob/Arch 2012: Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design*. Viena: Springer-Verlag, 2013
- BUILT Robotics Inc., "We are building the future of construction", disponible en: <https://www.builtrobotics.com/> , fecha de consulta: 02.08.2019
- CONSTRUCTION Robotics, "MULE", disponible en: <https://www.construction-robotics.com/mule/> , fecha de consulta: 02.08.2019
- DAAS, Mahesh, "Toward a Taxonomy of Architectural Robotics" en *SiGraDi 2014 · Proceedings of the 18th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, Montevideo, Sigradi, 2014. [http://mahesh.org/articles/Robotics\\_Daas\\_SIGRADI2014.pdf](http://mahesh.org/articles/Robotics_Daas_SIGRADI2014.pdf) .
- DEVOL, George C., Programmed Article Transfer, United States Patent Office: 2988237, 1961. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6a/78/93/6b7927856c9bee/US2988237.pdf> , fecha de consulta: 02.08.2019
- DOXEL Inc., "Artificial Intelligence for Construction Productivity", disponible en: <https://www.doxel.ai/> , fecha de consulta: 02.08.2019
- EFFIDENCE, "Effidence, Intelligence pour la robotique" disponible en: <https://www.efdidence.com/> , fecha de consulta: 02.08.2019
- ELEPHANT Robotics "Elephant Robotics", Disponible en: <http://www.elephantrobotics.com/en/> , fecha de consulta: 02.08.2019
- FANUC Iberia, S.L.U., "Fanuc" Disponible en: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots/serie-m-2000/m-2000ia-2300> fecha de consulta: 02.08.2019
- FBR Ltd., "Our story", disponible en: <https://www.fbr.com.au/view/our-story> , fecha de consulta: 02.08.2019
- FERINGA, Jelle, "Hyperbody Archive" Disponible en: <http://www.hyperbody.nl/about/news/news/indexef1f.html>, fecha de consulta: 02.08.2019
- GRAMAZIO, Fabio y Matthias Kohler, "From Paradigms to Practice, From Avant-garde to Culture" en *Towards a Robotic Architecture*, Mahesh Daas y Andrew John Wit, editors, EUA: ORO Editions,2018
- HUSQVARNA AB,"Remote workmates ready to tackle your heaviest, most challenging jobs",disponible en: <https://www.husqvarnacp.com/au/machines/demolition-robots/#navigationProducts> fecha de consulta: 02.08.2019

- INFINITI Research Limited, "Top 21 Industrial Robotics Companies in the World 2019" Disponible en: <https://blog.technavio.com/blog/top-21-companies-in-the-industrial-robotics-market> fecha de consulta: 02.08.2019
- INTERNATIONAL Federation of Robotics, World Robotics 2019 Preview, (IFR, 2019), [https://ifr.org/downloads/press2018/IFR\\_World\\_Robotics\\_Outlook\\_2019\\_-\\_Chicago.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/IFR_World_Robotics_Outlook_2019_-_Chicago.pdf), fecha de consulta 02.08.2019
- INTERNATIONAL Federation of Robotics, Executive Summary World Robotics 2018, (IFR, 2018), [https://ifr.org/downloads/press2018/Executive\\_Summary\\_WR\\_2018\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf), fecha de consulta 02.08.2019
- MALONEY, Brenna, editora, *Robotpedia*. San Rafael, California: Insight Kids, México, Panini, 2018
- McCARTHY, John, Marvin L Minsky., Nathaniel Rochester y Claude E. Shannon, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. Hanover, New Hampshire: Dartmouth, 1955
- McKINSEY & Company, Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity, McKinsey Global Institute, 2017 <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx> fecha de consulta: 02.08.2019
- MECADEMIC, Inc., "Mecademic" Disponible en: <https://mecademic.com/products/Meca500-small-robot-arm> fecha de consulta: 02.08.2019
- MENGES, Achim, "Morphospaces of Robotic Fabrication", en *Robotic Fabrication in Architecture, Art, and Design*, Sigrid Brell-Cokcan y Johannes Braumann, editores. Viena: Springer-Verlag, 2013
- ODICO, "Odico Construction Robotics", disponible en: <https://www.odico.dk/>, fecha de consulta: 02.08.2019
- PETERS, Scott L., Nathan Podkaminer y Thomas C. Coller, Brick Laying System, United States Patent Office: 8965571 B2, 2015. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/1b/26/ce/dbe4c668a5963d/US8965571.pdf>, fecha de consulta: 02.08.2019
- PIVAC, Mark J. y Michael B. Wood, Automated Brick Laying System for Constructing a Building from a Plurality of Bricks, United States Patent Office: 8166727 B2, 2012. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/34/11/0f/473cf083b8162a/US8166727.pdf>, fecha de consulta: 02.08.2019
- ROBOTIC Industries Association "A tribute to Joseph Engelberger" Disponible en: <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/>, fecha de consulta: 02.08.2019
- ROBOTWORX, "RobotWorx a SCOTT company" Disponible en: <https://www.robots.com> fecha de consulta: 02.08.2019
- SARCOS Corp., "Guardian GT", disponible en: <https://www.sarcos.com/products/guardian-gt/>, fecha de consulta: 02.08.2019
- SEITZ, Max, Qué países tienen más robots en sus fábricas y cuán cierto es que nos está robando los puestos de trabajo (BBC, 2017), <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39267567> fecha de consulta: 02.08.2019
- SICILIANO, Bruno y Oussama Khatib, editores, *Springer Handbook of Robotics*, Berlin: Springer-Verlag, 2016
- SUTHERLAND, Ivan E., Alan Blackwell, y Kerry Rodden. *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. Reino Unido, Cambridge University 2003, <http://www.cl.cam.ac.uk/> fecha de consulta: 02.08.2019.
- TYBOT LLC, "The Autonomous Rebar-Tying Robot", disponible en: <https://www.tybotllc.com/>, fecha de consulta: 02.08.2019

UNIVERSAL Robots A/S, "Universal Robots", disponible en: <https://www.universal-robots.com/es/> , fecha de consulta: 02.08.2019

VOLVO, "Electric load carrier concept wins prestigious global award", disponible en: <https://www.volvocem.com/global/en/news-and-events/press-releases/2017/electric-load-carrier-concept-wins-prestigious-global-award/> , fecha de consulta: 02.08.2019

YALCINKAYA, Günseli, "Time magazine recreates iconic cover using 958 drones", disponible en: <https://www.dezeen.com/2018/06/04/time-magazine-recreates-iconic-cover-using-958-drones/> , fecha de consulta: 02.08.2019

## **Ronan Bolaños Linares**

ronanb@unam.mx

Profesor titular de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, Doctor con mención *cum laude* por la UPC. Arquitecto con mención honorífica por la UNAM. Miembro del SNI Nivel I. Reconocimiento DUNJA en Arquitectura y Diseño 2017. Responsable del Laboratorio de Arquitectura + Diseño y Tecnología Experimental. Imparte Cursos de Diseño Paramétrico desde 2010. Cátedra Especial Javier García Lascurain 2019 'Fundamentos de Diseño Paramétrico y Fabricación Robotizada'. Socio de Bolaños Boo Arquitectos.