Las nuevas tecnologías impulsan la automatización de tareas en el sector de la construcción

Robots a pie de obra

Hasta hace muy poco y a diferencia de otros sectores, la variedad y complejidad de las tareas a realizar hizo de la construcción un campo poco favorable a la automatización. En las últimas décadas, sin embargo, esa tendencia ha comenzado a revertirse con el uso generalizado de la inteligencia artificial, que permite el diseño de herramientas y soluciones a medida y que está favoreciendo la creación de robots para la ejecución de los trabajos más repetitivos o peligrosos.

■ *Texto:* Antonio Recuero
Icono cabecera: Vecteezy.com

DFBA House, primera casa construida íntegramente mediante inteligencia artificial con la ayuda de robots.
Foto: Instituto Tecnológico de Zúrich.

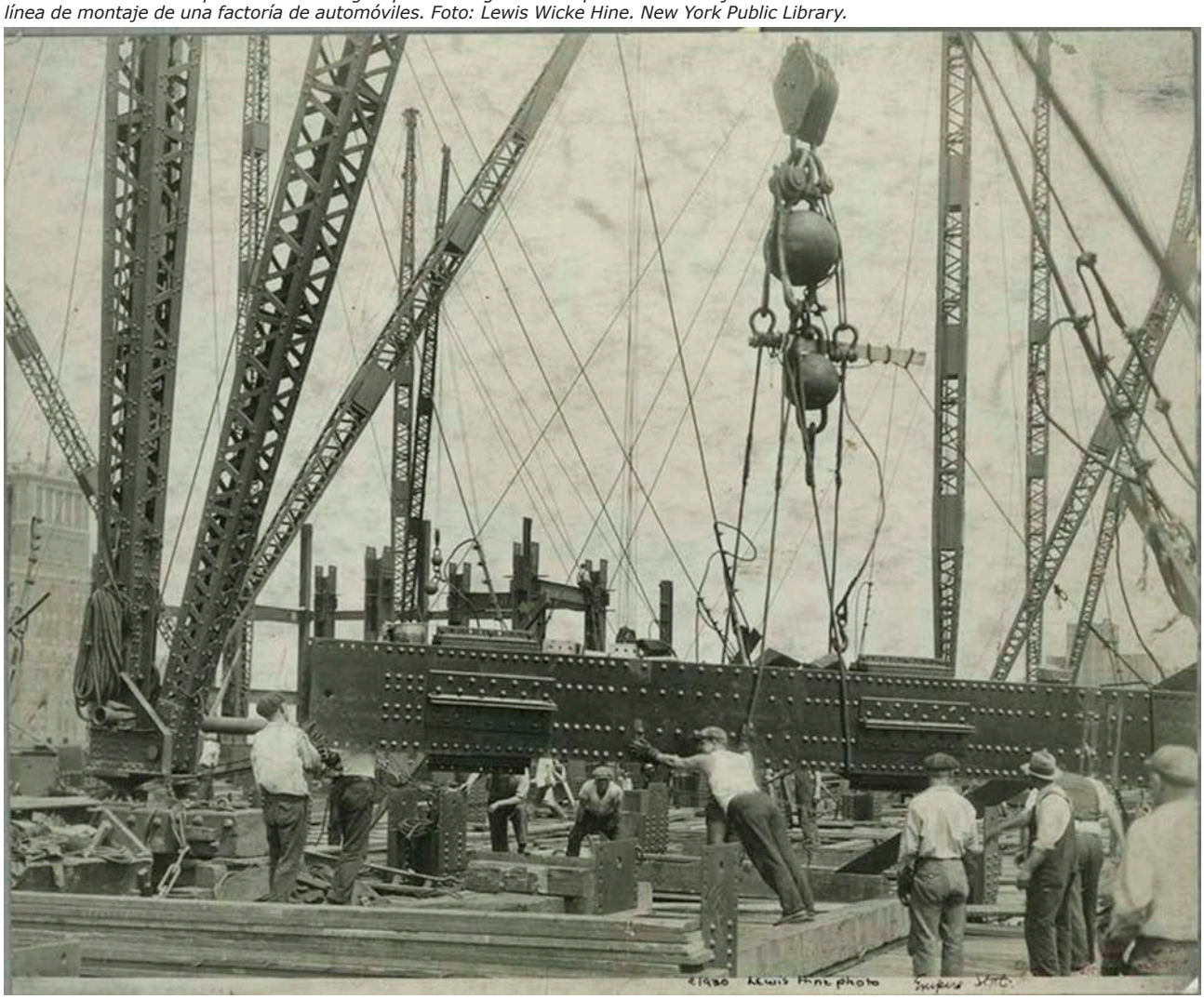
Abril de 2030.

En la periferia de Madrid se construye la nueva sede corporativa de una gran compañía de seguros. Se trata de un vistoso rascacielos de 270 metros de altura y 56 plantas en el que ya sólo restan unos pocos remates y los cierres de fachada definitivos en algunas de ellas. A vista de pájaro, sobre los 2000 m2 de superficie de la última planta, se aprecia una actividad incesante, pero ni el menor signo de presencia humana. Desde el núcleo central del edificio un juego de brazos telescópicos, perfectamente sincronizados, van ensamblando las distintas estructuras de acero y cristal del exterior. Una vez finalizada esa tarea, en apenas tres horas, los depósitos de carga de sus impresoras 3D son sustituidos por otros nuevos, conteniendo ladrillos, yeso y otros materiales necesarios para la construcción de los 22 apartamentos interiores que se alojarán en esa última planta y que estarán finalizados en las 20 horas siguientes. ¿Una escena de ciencia-ficción? Tal vez, aunque ese futuro quizá ya no es hoy tan remoto como inicialmente pudiera parecer.

Antes autómatas

En mayo de 1931 se terminaba de construir el Empire State Building de Nueva York. Sus 381 metros de altura lo coronaron como el edificio más alto del mundo durante bastantes años. Pero más allá de ese récord efímero, el edificio más simbólico de la ciudad de los rascacielos posee otra marca aún más difícil de batir por otros de similares características, incluso en estos últimos años: fue construido tras solo 410 días de trabajo. ¿Además de las casi 3.500 personas que trabajaron en él, cuál fue entonces su secreto? Fundamen-

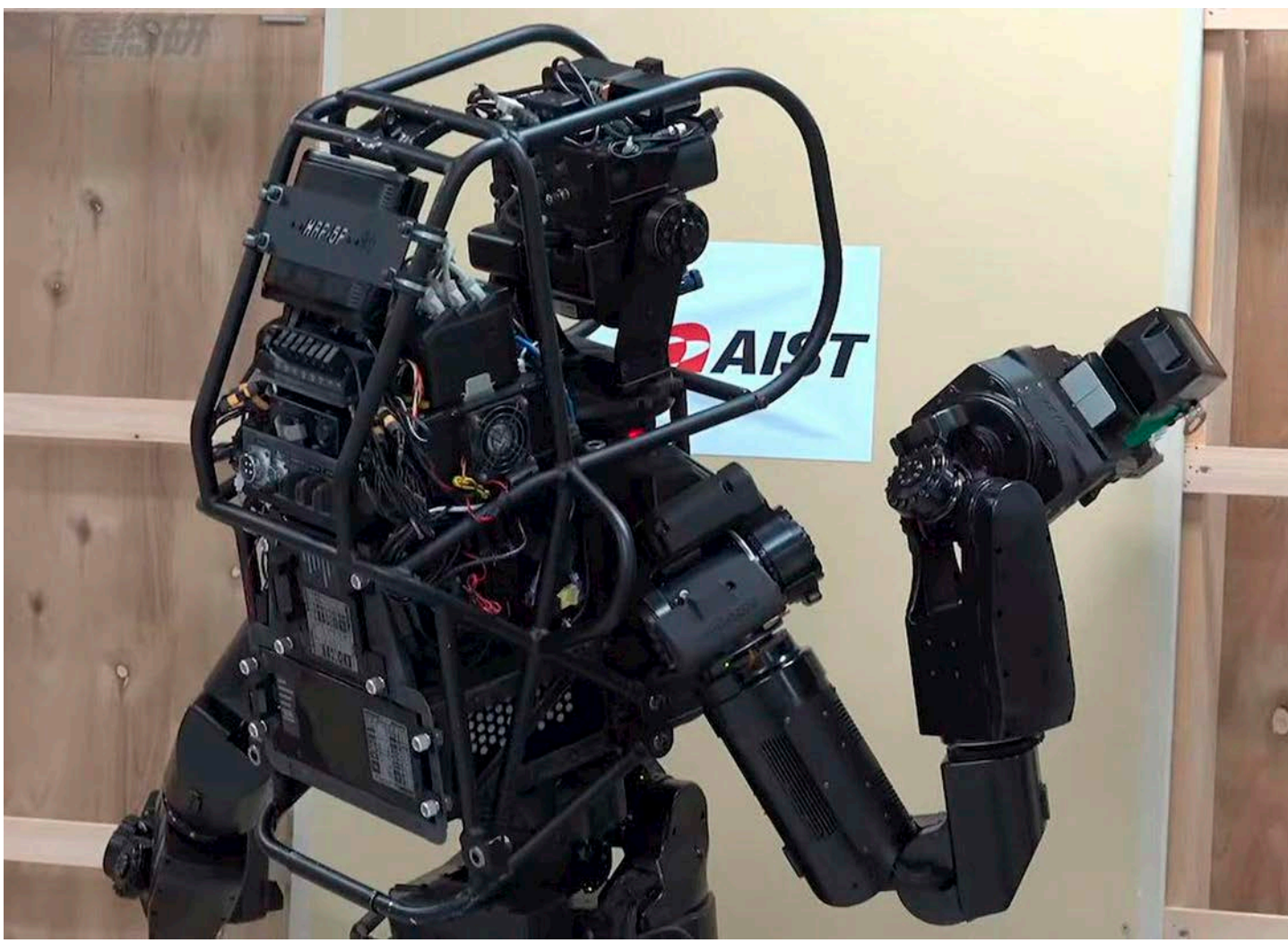
La construcción del Empire State Building se planificó siguiendo esquemas de trabajo similares a los de la línea de montaje de una factoría de automóviles. Foto: Lewis Wicke Hine. New York Public Library.



talmente que su arquitecto y diseñador, William F. Lamb, junto al amplio equipo de ingenieros y técnicos que le asesoraron, elaboraron previamente unos sistemas de trabajo que preveían una metódica organización de los tiempos y las tareas, de modo que casi todos los materiales llegaban a obra prefabricados y eran montados in situ por los operarios siguiendo unos esquemas muy parecidos a los de las cadenas de montaje de las factorías de automóviles. Los trabajadores no eran aún ciertamente robots, pero sus movimientos estaban bastante programados para adaptarse en muchos casos a los flujos de material que les llegaban en ascensores, vagones y cintas transportadoras; además, un nuevo arsenal de herramientas neumáticas y eléctricas les ayudaba a efectuar las tareas con mayor precisión y en menores tiempos. Con esa concienzuda organización del trabajo se llegaron a levantar hasta cuatro plantas en una sola semana, algo que incluso en estos últimos tiempos resulta sumamente complicado.

La construcción del Empire State Building mostró el camino para la automatización de muchas de las tareas realizadas a pie de obra. También que podía entrañar al final considerables ahorros sobre el presupuesto previsto inicialmente: su coste último, cercano a los 41 millones de dólares, supuso una importante reducción de casi 9 millones de dólares sobre los 50 millones calculados de partida, si bien la bajada de precios de muchos materiales durante la Gran Depresión influyó en ese ahorro. Como bien saben los promotores, los desvíos presupuestarios son uno de los principales quebraderos de cabeza a la hora

Robot androide diseñado por el Instituto de Ciencia y Tecnología de Japón para desarrollar diferentes tareas en construcción e ingeniería naval y aeronáutica.



de estimar la inversión necesaria para la realización de una obra y despejar la incógnita de sus futuros márgenes de rentabilidad. De ahí que los cálculos de sus tiempos de duración y la lucha contra los retrasos o demoras indeseadas se hallan convertido en dos de los factores más cruciales durante su planificación.

Según la consultora Mckinsey, la ingeniería y la construcción mueven al año un volumen de negocio cercano a los 10 billones de dólares. Un negocio en el que también las pérdidas por las entregas fuera de plazo están cuantificadas, llegando a suponer entre el 10 y el 20% sobre el precio de facturación previsto de inicio. Y uno de los principales talones de Aquiles de las empresas del sector durante estos últimos años, a diferencia de otros como las industrias de fabricación de bienes y equipos, el comercio o la distribución, ha sido su proverbial retraso en adoptar o incorporar las nuevas tecnologías en la mejora de sus ratios de productividad. Pero se aprecian señales de que algo ha empezado ya a cambiar durante estas dos últimas décadas. Y es que la automatización no solo reporta importantes beneficios en términos de productividad, también en el de la mejora de la seguridad, el otro de los grandes desafíos permanentes del sector.

Tuneladora. Foto: Acciona

Ya están aquí

De hecho, en apenas estos últimos 20 años, como ocurrió a finales de los ochenta en el pasado siglo en la industria del automóvil, la automatización de algunos procesos constructivos en ingeniería de estructuras ha comenzado a hacer realidad la ejecución por máquinas de algunas tareas que se pensó que siempre serían manuales, en todo o al menos en parte. Así, por ejemplo, las tuneladoras han hecho posible la sistematización casi industrial de todo el proceso de construcción de un túnel, desde la excavación a la evacuación de escombros o el revestimiento de la galería mediante dovelas. Si bien dirigidos desde dentro por equipos de técnicos altamente especializados, estos grandes colosos se pueden considerar como los principales precursores de la automatización de tareas a gran escala. Es cierto que a día de hoy no realizan su trabajo de manera totalmente autónoma, como se supone que debería hacerlo un buen robot, pero la introducción de la metodología BIM (*building information modeling*) está haciendo que el *software* y los algoritmos les permitan realizar labores cada vez más complejas sin apenas asistencia humana.

Algo muy similar ha ocurrido también en el ámbito de las infraestructuras portuarias, en el que nuestro país se ha situado a la vanguardia gracias a la construcción de grandes cajones para diques y muelles mediante plataformas flotantes, en realidad

enormes barcos-factoría especializados en la fabricación de cuerpos de hormigón a medida que, gracias a estar diseñados para la construcción sobre el mismo mar, solventan muchos de los problemas inherentes a las ampliaciones portuarias junto a viejos cascos urbanos: no se interfiere la normal actividad portuaria ni se interrumpen accesos terrestres; posibilidad de levantar escolleras y diques en zonas de más calado y, sobre todo, reducción considerable de los tiempos de obra. Se trata, en definitiva, de una automatización basada en la búsqueda de soluciones a medida y que alcanza también a otras estructuras igualmente complejas como viaductos, muros de contención y edificios, gracias sobre todo al empleo cada vez más extendido de los prefabricados y de las plataformas y carros a medida para la realización de encofrados in situ. Un proceso de automatización en el que las tecnologías 4.0 vienen desempeñando un papel cada vez más decisivo, tanto en el diseño preciso de las estructuras como en su ejecución sobre el terreno, sin margen de error gracias a la asistencia de cada vez más perfectas herramientas de modelado 3D o sofisticados equipos de telemetría y teleguiado.

Son precisamente muchas de esas aplicaciones, bien apoyadas en un *hardware* que incluye el exhaustivo conocimiento de múltiples proyectos similares, las que ya se han comenzado a incorporar como *recarga* de inteligencia artificial en máquinas convencionales tradicionalmente usadas en construcción: excavadoras, grúas, palas, etc. El objetivo es dotarles de la mayor autonomía posible, de modo que puedan efectuar trabajos más o menos complejos. Se trata, en suma, de que simples máquinas tengan al fin almas de robots.

Muchos son aún meros prototipos y su desarrollo y, sobre todo, ponerlos manos a la obra puede llevar aún bastante tiempo. Pero también es cierto que muchos otros parecen llegados para quedarse, e incluso algunos están ya en pleno tajo. No tienen sin duda el aspecto ni la voz androide de las películas, pero son capaces de realizar de forma más o menos autónoma y con gran eficacia trabajos de cierta complejidad. Su repertorio de tareas es bastante amplio y las ferias sectoriales y sus correspondientes foros son sin duda uno de los mejores observatorios para apreciar los sorprendentes progresos que día tras día se producen en su diseño.

Así, en diciembre de 2019, en Bimtecnia, el foro de la construcción 4.0 celebrado en Valladolid, durante una de las jornadas, técnicos de la Fundación Cartiff desgranaron algunos de los avances más recientes relacionados con el uso de la inteligencia artificial y la robótica en el campo de la construcción. Y enu-

Robot para trabajos verticales desarrollado por CSIC.

Made in Spain

Desde hace ya más de 15 años nuestro país ha sido uno de los grandes pioneros en el desarrollo e implantación de sistemas automatizados para diferentes procesos y trabajos en el campo de la construcción. También ha irrumpido con fuerza en la creación de robots complejos y originales. En este sentido, cabe reseñar dos aportaciones especialmente singulares, desarrolladas desde dos de nuestros centros más punteros: el Instituto de Automática Industrial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Laboratorio de Robótica de la cátedra de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Carlos III de Madrid. En ambos casos se trata de proyectos financiados con cargo a diferentes programas de investigación de la UE.

Fruto del más antiguo, el Programa Growth, fue Roboclimber, un robot escalador cuadrúpedo, cuyo primer prototipo, surgido del Instituto de Automática del CSIC, vio la luz en 2004. Se trata de un robot articulado de más de 3.000 kilos de peso apto para caminar sobre todo tipo de superficies pero que, suspendido de cables de acero, puede trepar sobre paredes verticales con ángulos de hasta 90º de inclinación. Uno de sus brazos ha sido especialmente diseñado para perforar/taladrar en roca y otras superficies, pudiendo insertar también barras de acero de hasta 20 m, lo que lo hace especialmente indicado para efectuar trabajos de consolidación de taludes y laderas. El Roboclimber fue adoptado como robot explorador por la Agencia Espacial Europea, ente otras misiones para la toma de muestras en la superficie de otros planetas. Los ingenieros siguen perfeccionándolo en el ámbito de la construcción y la ingeniería para que pueda efectuar los trabajos de estabilización no sólo mediante la introducción de barras y bulones, sino también inyectando hormigón o tendiendo mallas metálicas.

Más reciente, fruto del programa Horizonte 2020, el Programa Marco de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Unión Europea, es el proyecto Badger (término que, traducido al castellano, equivaldría a tejón), en el que Laboratorio de Robótica de la Universidad Carlos III participa desde 2016 como coordinador y en el que intervienen otros centros de investigación públicos y privados, como la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Glasgow (Escocia), el Centro de Investigación y Tecnología de Grecia, IDS Georadar Srl (Italia), Singular Logic S.A (Grecia), Tracto-Technik GMbH & Co. KG (Alemania) y Robotnik Automation S.L. (España). El proyecto obedece a la búsqueda de una solución a la excavación subterránea en suelos densamente utilizados, como los de las ciudades con numerosas canalizaciones: aguas, alumbrado, telefonía, etc.

Frente a la excavación tradicional que requiere de costosas obras de perforación en superficie: apertura de zanjas mediante maquinaria, interrupciones de tráfico, etc, el proyecto Badger se propone como algo más que una microtuneladora capaz de excavar y construir túneles con diámetros de hasta 20 cm. El Badger es un robot con forma de serpiente, de poco más de 80 cm de longitud, que consta de varios módulos: el primero sería propiamente el frente de excavación y avance, el segundo acogería los mecanismos de propulsión, el tercero los de orientación y guiado y el cuarto los de cierre y consolidación de las paredes del túnel. Para poder excavar en función del tipo y dureza del terreno, Badger va equipado con distintos tipos de cabezales intercambiables. También se está probando dotarle con un sistema de ultrasonidos capaz de pulverizar rocas y escombros. Su sistema de guiado se sirve de georadares de navegación autónoma, unidades de medición inercial, radar de penetración del suelo y distintos tipos de sensores para reconocer cualquier tipo de obstáculo no previsto (restos de cables o tuberías), además del *software* cargado con mapas de cualquier red o canalización previamente instalada en la zona. Finalmente, para reforzar las paredes que excava, se ensaya equiparle con impresoras 3D de hormigón. En definitiva, un perfecto todo en uno capaz de resolver el siempre engorroso problema de las excavaciones en ciudades.

meraron algunos de los trabajos en los que han comenzado a utilizarse. Hay ya robots patentados para efectuar diferentes tareas, tales como demolición, construcción de muros con ladrillos, soldadura, movimientos de tierra mediante vehículos autónomos, elaboración de prefabricados mediante impresoras 3D o trabajos de limpieza.

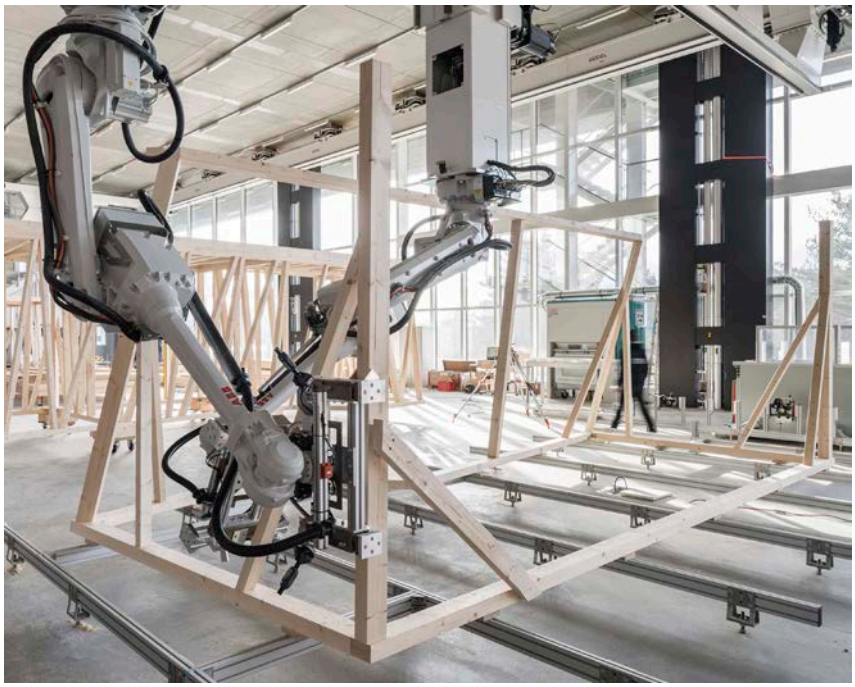
Robots de demolición: si bien se han comenzado a desarrollar prototipos autónomos, la mayoría aún se gestionan por control remoto; permiten derribar y reducir a fragmentos transportables viejas construcciones de cierta solidez, aunque todavía no a gran escala; ofrecen como principal ventaja el procesado a distancia de desechos y/o restos potencialmente contaminantes. Japón fue el país pionero en su introducción, pero en la actualidad ya son numerosas las empresas que, tanto en Europa como en Estados Unidos, tienen patentados sus propios modelos.

Vehículos y palas autónomas para carga y movimiento de tierras: al igual que en otras muchas tareas, también en esta las empresas japonesas han sido pioneras, primero especializándose en *dumpers* teledirigidos y luego dotándoles de cierta autonomía mediante la incorporación de inteligencia artificial. Pero hoy son varias las empresas de maquinaria de todo el mundo que tienen desarrollados interesantes prototipos. También en España. A mediados de 2018 la empresa Acciona hizo la presentación oficial de su *dumper* CAT 773F, con una capacidad de carga de hasta 40 toneladas. Desarrollado en colaboración con Caterpillar, el proyecto intenta dotar al vehículo de la máxima autonomía, como sucede ya con muchos modelos de coches y camiones sin conductor. Por ahora puede ser teledirigido desde un centro de control remoto situado a más de 9.000 km de distancia, pero se confía que, en los próximos años, gracias a la tecnología 5G, con la mejora de los sistemas de geoposicionamiento y de los sensores de reconocimiento del terreno, su grado de autonomía sea casi total.

Hadrian, el robot albañil

Robots que colocan ladrillos: son quizá los de más reciente introducción y los que se encuentran aún en fase más experimental. Hadrian X, patentado por un ingeniero australiano en 2015, fue el primero en llegar. Dotado de un *software* que le permite trabajar sobre planos 3D, en las últimas demostraciones ha sido capaz de levantar todos los muros de una casa de 180 metros cuadrados en apenas tres días, con un ritmo de trabajo de mil ladrillos/día. Está montado

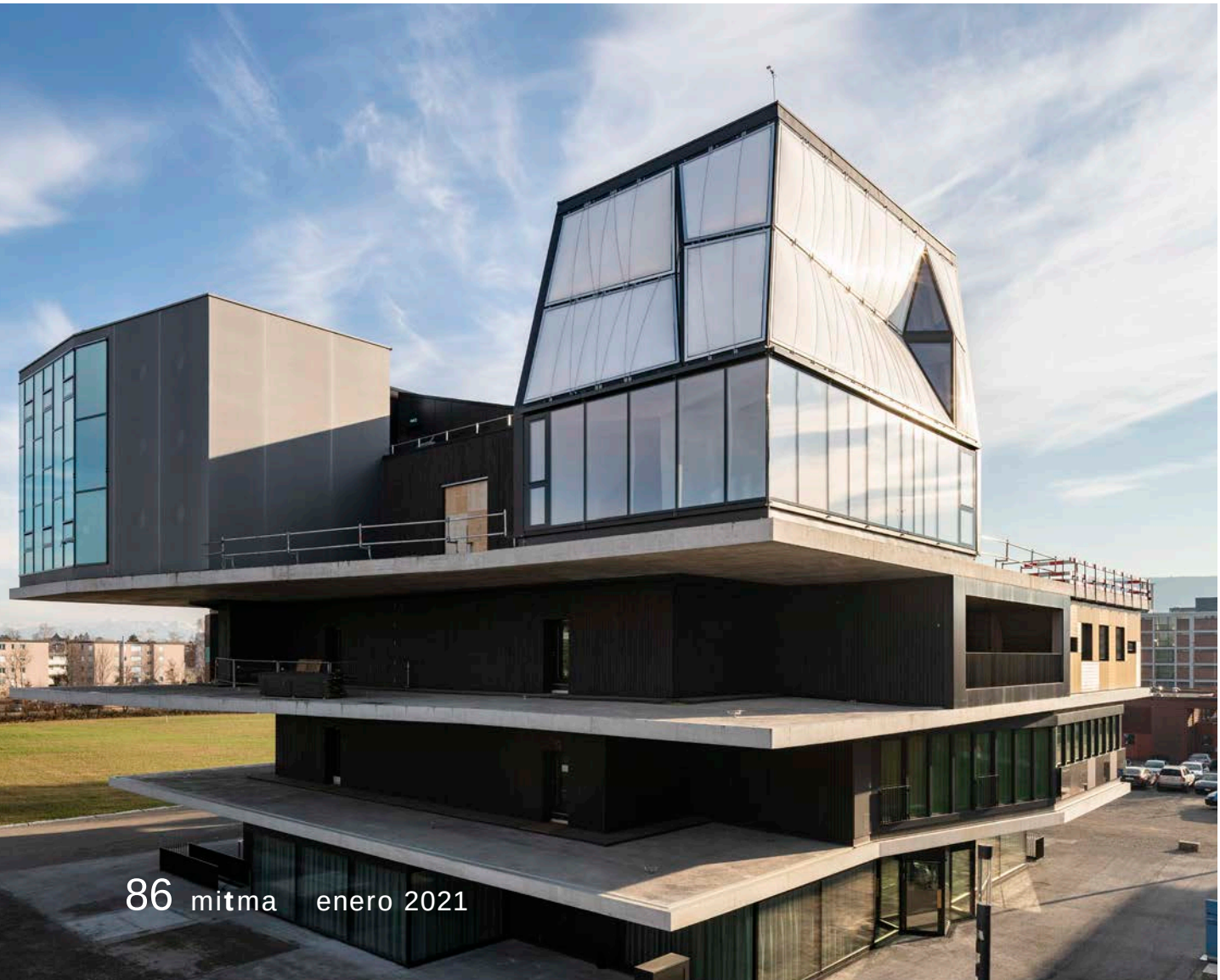
Hadrian X, un robot australiano capaz de colocar mil ladrillos/día. Foto: FBR.



Bajo estas líneas y abajo, DFA House, construida íntegramente mediante inteligencia artificial con la ayuda de robots. Foto: Instituto Tecnológico de Zúrich.

sobre el remolque de un camión, pero se puede instalar en otras superficies, como plataformas para grúas, barcazas, etc. En la práctica, su forma de trabajar es bastante sencilla: el brazo robótico está integrado en el remolque de un camión, que aloja asimismo su almacén de ladrillos, los cuales son distribuidos y colocados por la máquina a través de una cinta transportadora que discurre por el interior del brazo.

Hadrian X puede levantar casas enteras a partir de modelos prediseñados. Su programa tiene en cuenta las divisiones interiores y deja en cada muro los espacios necesarios para alojar puertas,



ventanas, cableado o fontanería. Su brazo mecánico está guiado por cuadrículas láser que le permiten colocar los ladrillos perfectamente alineados. Los ladrillos que utiliza son de grandes proporciones, en realidad bloques 12 veces más grandes que un ladrillo normal, obteniendo así más rendimiento, que incluso puede verse aumentado gracias a una mayor velocidad en la colocación. FBR, su fabricante australiano, ha desarrollado un adhesivo especial de adherencia más rápida y fuerte que los cementos habituales. Su *software* incorpora coordenadas cartesianas y diseño paramétrico, lo que le permite transformar la estructura de un muro modelada en CAD en metadatos vinculados a los ladrillos, deduciendo así todas y cada una de las piezas necesarias y la situación exacta en que irán colocadas. Una vez que los bloques son cargados, el robot identifica cada uno de ellos y decide dónde situarlos. Hadrian incorpora también un brazo de corte que le permite trocear los ladrillos en cuartos, medias partes o tres cuartos de bloque en caso necesario, almacenándolos para un uso posterior.

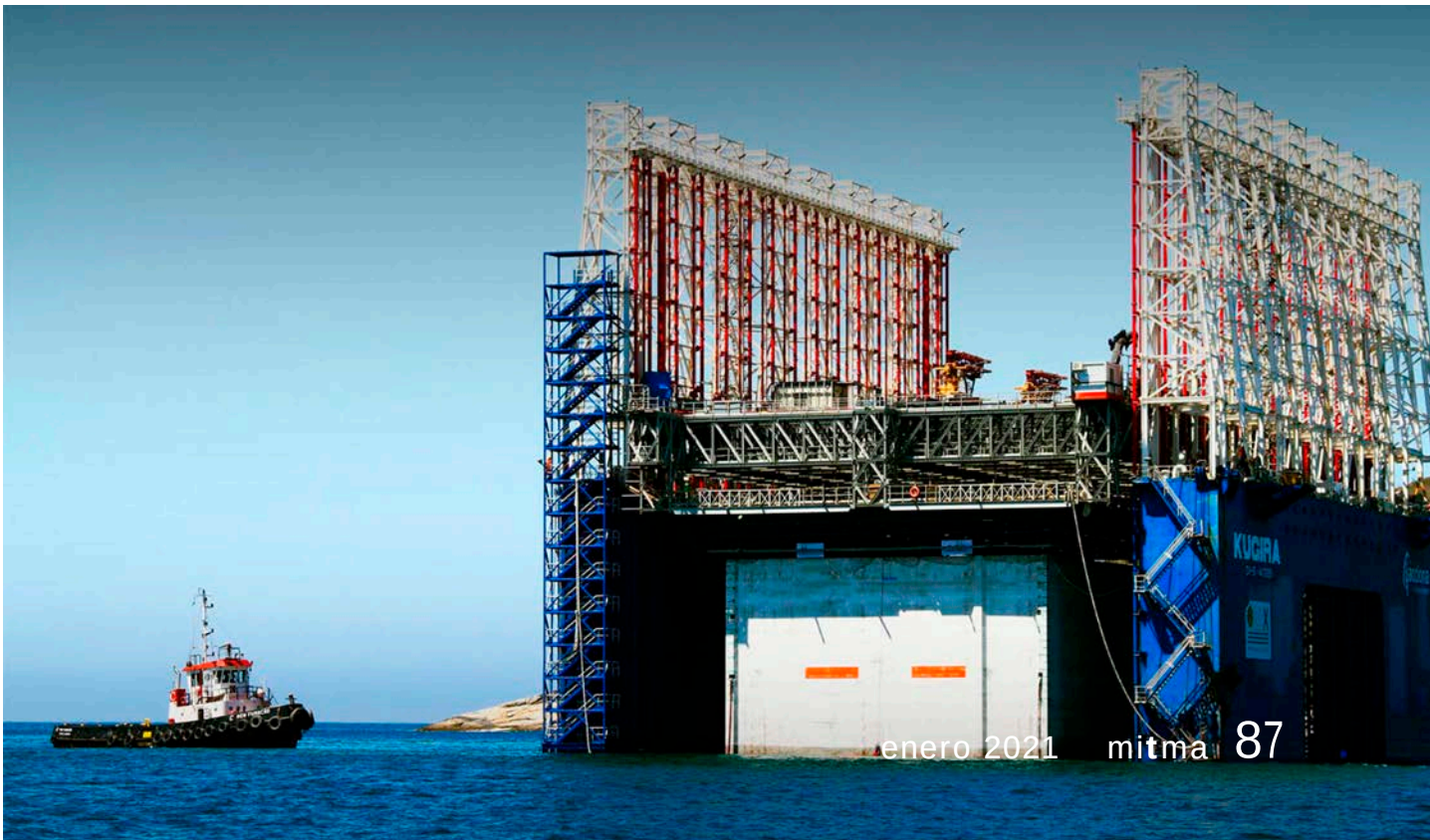
El rival norteamericano de Hadrian se llama SAM (*Semi-Automated Mason*) y aunque también es un brazo mecánico, está integrado a una plataforma móvil capaz de adaptarse a diferentes terrenos. La plataforma incluye, además del brazo, una bomba de cemento y una cinta transportadora para colocar los ladrillos. SAM realiza un trabajo cooperativo en combinación con albañiles humanos y es capaz de construir paredes hasta seis veces más rápido que un operario bien experimentado. En cuanto a velocidad, SAM no es aún tan rápido, y por ahora coloca sólo alrededor de 500 ladrillos al día.

Europa también tiene su réplica reciente a estos incansables albañiles. En concreto, el Instituto Tecnológico de Zúrich ha crea-

Sólo unos pocos

Según el último informe de la IFR (Federación Internacional de Robótica), en los doce países de mayor PIB de la UE, hay ya trabajando en el sector de la construcción 1,2 robots por cada 10.000 trabajadores. Se trata de cifras aún muy alejadas de otros sectores de la industria, donde el ratio se aproxima a casi 2,5 robots por cada 10.000 trabajadores. En uno y otro caso nuestro país se halla situado entre los diez primeros con mayor número de robots, con casi 1,70 robots/10.000 trabajadores en todos los sectores y 0,8 robots/10.000 trabajadores en la construcción, la mayor parte de ellos en trabajos de demolición.

Plataforma automatizada para la construcción de cajones en obras portuarias. Foto: Acciona.



do un prototipo de robot capaz no sólo de levantar paredes de ladrillo, sino también de manipular estructuras de ferralla.
La experiencia de los investigadores suizos ha llegado incluso más lejos y se ha plasmado en la construcción de una vivienda de unos 200 m², la DFAB House, inaugurada en febrero del pasado año y que presume de ser la primera diseñada y construida mediante inteligencia artificial.
El *software* y los programas de Autocad hicieron posible la planificación de las distintas estructuras y módulos, que se fabricaron in situ mediante robots e impresoras 3D. Los investigadores desarrollaron asimismo una ingeniosa metodología que facilitó todo el proceso de construcción "digital". La obra se inició con la tecnología Mesh Mould (Molde de la Malla), y en ella el robot de construcción de dos metros de altura *In situ Fabricator* juega un papel vital, pues fabrica y teje la red de cables de acero que sirve a la vez como cimbra y refuerzo del hormigón, que es inyectado desde impresoras 3D.
Otro de los métodos innovadores es la tecnología *Smart Dynamic Casting* (Fusión Dinámica Inteligente), un proceso automatizado que permite a los robots fabricar otras estructuras de hormigón a la medida, bien para completar otros elementos de fachada o de las cubiertas. Por último, la metodología *Spatial Timber Assemblies* (Ensambles Espaciales de Madera) hace posible que los robots auxiliares corten y ensamblen a medida todos los elementos estructurales de madera.

Excavadora y camión de carga autónomos.

Robots de soldadura: Comenzaron a usarse a gran escala a finales de los ochenta en la industria del automóvil. Son de gran precisión, pero exigen que un operario los coloque y los sitúe. Una de las innovaciones más reciente es la de un grupo de empresas austríaco especializado en construcción metálica, que ha creado una instalación de ensamblaje y soldadura completamente automática. Básicamente consta de un escáner adaptado especialmente para esta máquina. Puede detectar los elementos de montaje colocados en los ejes de desplazamiento y los compara instantáneamente con los planos CAD almacenados. Las coordenadas de las piezas de montaje se transmiten automáticamente al robot de manipulación, que selecciona las piezas individualmente y las coloca con precisión en la viga de acero. Mientras la pieza que se va a montar es sujetada por el robot de manipulación, el robot de soldadura comienza soldando, primero por puntos, los elementos de montaje, que luego se repasan y sueldan completamente.

Aunque aún no han llegado a las obras a gran escala y su utilización se encuentra en fases muy experimentales, cabe mencionar otros robots, como los de impresión, que utilizan tecnología 3D, generalmente para realizar prefabricados en un abanico cada vez más amplio de materiales –yeso, vidrio, hormigón, etc.- que luego se ensamblan en el edificio, in situ; y también los exoesqueletos, concebidos como trajes o armaduras robotizadas para efectuar sobre todo trabajos en que la manipulación de cargas pesadas requiere de gran precisión, resistencia y maniobrabilidad. La gama, como se puede apreciar, es muy amplia y cubre casi todo el espectro de trabajos habituales en una construcción. Sólo restaba un último salto evolutivo, quizá el más definitivo. Pero también está ya en camino: un robot androide multitarea, que –como no podía ser de otro modo- viene de Japón. Se trata de HRP5P, un robot humanoide de 1,85 m de altura y 101 kilos de peso, cuya carga de inteligencia artificial le permite mediciones exactas del entorno, reconocimiento de objetos y herramientas, comprensión y ejecución de diversas tareas como movimiento y colocación de paneles, cortes a medida, fijación y anclaje, etc. Concebido como una plataforma, la idea de los ingenieros del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de Japón es desarrollar aplicaciones que le permitan ampliar su abanico de habilidades, de modo que pueda afrontar trabajos cada vez más complejos en el campo de la construcción, la ingeniería aeronáutica y naval.

La inteligencia artificial, en suma, está abriendo un campo de posibilidades casi infinitas. Sus aplicaciones redundan en mayor eficacia, productividad y seguridad. ¿Sin ningún riesgo? ¿Podría, por ejemplo, un robot juzgar imperfectos el Partenón o la catedral de Florencia y emprender su demolición? Al respecto, en uno de los últimos congresos de inteligencia artificial, fueron varios los científicos e ingenieros que recordaron que ningún dispositivo inteligente puede verse libre hoy de acoger programas malintencionados o "malware", y lanzaron un manifiesto recordando la necesidad, hoy, más que nunca, de ratificar un convenio internacional por un compromiso en su diseño que llevara implícito el cumplimiento, al menos, de las tres leyes de la robótica de Isaac Asimov: "un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitirá que un ser humano sufra daño"; "un robot debe cumplir las órdenes dadas por los seres humanos, a excepción de aquellas que entrasen en conflicto con la primera ley", y "un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la primera o con la segunda ley". ■