

01

DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

Impresión 4D

Combinando los avances en impresión 3D con nuevos materiales inteligentes de diseño, las universidades y los laboratorios punteros están creando objetos analógicos autónomos que evolucionan con el tiempo sin necesidad de potencia computarizada en el dispositivo. El potencial intersectorial no tiene precedentes.



Chau Hon Ho
ABB Future Labs
Baden-Dättwil, Suiza

chau-hon.ho@
ch.abb.com

¿Qué pasaría si los objetos inertes de diseño con formas complejas pudieran comportarse como organismos vivos, detectando estímulos externos y respondiendo adaptándose a su entorno? ¿Y qué pasaría si pudieran volver a su estado original una vez que desapareciera ese estímulo o se activase otro? Al cambiar una propiedad fundamental como la forma, con el tiempo, y sin necesidad de sistemas electromecánicos o sistemas de control computerizados, las estructuras podrían automontarse, autoadaptarse e incluso autorrepararse. Las implicaciones para la sociedad y las empresas serían revolucionarias. Esta idea aparentemente descabellada ya no está relegada al ámbito de la ciencia ficción. Investigadores de instituciones y laboratorios punteros de todo el mundo están combinando los avances en la impresión 3D de estructuras complejas con nuevos materiales inteligentes de respuesta para crear estructuras impresas en 4D que hacen exactamente eso.

Con la Cuarta Revolución Industrial ya muy avanzada, las industrias que aprovechen sus posibilidades sin precedentes tendrán sin duda una ventaja económica. Con este conocimiento, instituciones y empresas están invirtiendo en tecnologías que rompen barreras y la impresión 4D posee un potencial radical.

Combinando el proceso de impresión 3D, los materiales inteligentes, el modelado matemático y los algoritmos de aprendizaje automático, los investigadores están creando objetos 3D que reaccionan a estímulos externos transformándose con el tiempo, añadiendo así una cuarta dimensión. El nivel de autonomía estructural alcanzado no tiene precedentes.

La tecnología 4D podría permitir que los productos analógicos autónomos evolucionasen sin necesidad de potencia computarizada en el dispositivo.

Esta tecnología podría permitir la evolución de productos o agentes analógicos autónomos sin necesidad de potencia computarizada en el dispositivo. Los componentes impresos en 4D que cambian de forma o se mueven sin motores, cables o fuentes de energía activas se comportarían de la misma forma que los organismos biológicos →01. Las futuras



—
01 Impresión 4D de formas octogonales desarrolladas en el laboratorio de autoensamblaje del MIT. Inicialmente una capa plana de 2D, los objetos se autoensamblan en un objeto 3D.

—
02 Este brazo robótico impreso en 3D se imprimió en cuatro días y pesó un 50 % menos que el original.

02

—
La mayor parte de la investigación de impresión 4D se centra en tres funcionalidades: autoensamblaje, autoadaptabilidad y autorreparación.

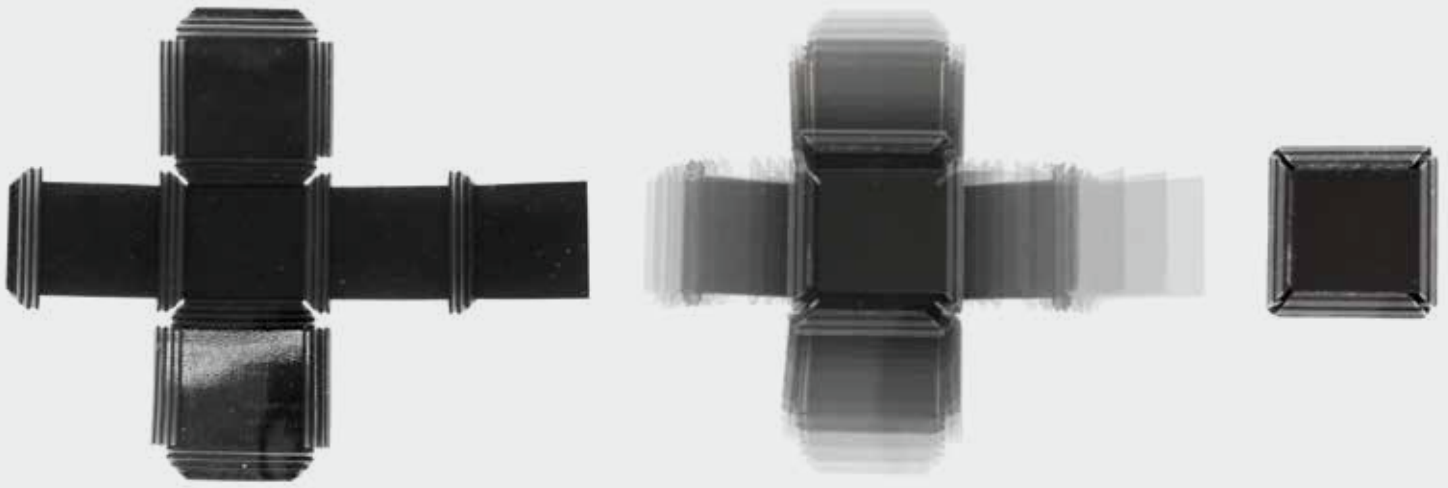
aplicaciones de estas las estructuras en las industrias de construcción, transporte, textil, salud, defensa y aeroespacial son enormes.

Impresión 3D: aspectos básicos

Inventada en la década de los 80, la fabricación aditiva o la impresión 3D no es como las técnicas de fabricación tradicionales, en las que las piezas se funden, moldean o fresan; en este caso el material se deposita en capas sucesivas para crear el objeto

deseado. Aunque todavía no es común, la impresión 3D se utiliza ampliamente, por ejemplo, en robótica, biomedicina y ciencia aeroespacial, porque permite la fabricación de estructuras 3D únicas y personalizadas. En la actualidad, los algoritmos de modelado matemático y aprendizaje automático se aplican cada vez más para impulsar el diseño, el desarrollo de materiales y el control de la impresión. En 2019, MX3D, una empresa holandesa, imprimió en 3D un brazo robótico para personalizar y optimizar un brazo robótico suministrado por ABB. Una técnica especial de impresión 3D, Wire Arc Additive Manufacturing, permitió imprimir en posición vertical las complejas geometrías orgánicas.

Los algoritmos inteligentes determinaron la estrategia de impresión óptima y la dirección de la ruta de la herramienta para cada característica geométrica. Aquí, la impresión 3D se aplica a la personalización generativa de diseño, ahorra tiempo y reduce costes al aumentar la productividad y reducir el desperdicio de material, importante para aplicaciones robóticas personalizadas →02 [1].



03a

Preparando el camino hacia la impresión 4D

El desarrollo de materiales inteligentes (materiales que contienen componentes funcionales o reactivos diseñados matemáticamente para responder a estímulos ambientales externos específicos) y la disponibilidad de impresión 3D sentaron las bases para la impresión 4D.

El arquitecto y científico informático Skylar Tibbits fue el que acuñó el término «impresión 4D» en 2013. Aunque muchos laboratorios estaban explorando

Imagine una fuga de agua en una tubería en una zona de guerra que pudiera autorrepararse sin necesidad de sistemas de localización ni intervención humana.

simultáneamente esta combinación, Tibbits y su grupo en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) fundaron el Self-Assembly Lab en 2014. Su visión continua se centra en tres funcionalidades fundamentales de los objetos impresos en 4D: autoensamblaje, autoadaptabilidad y autorreparación.

Autoensamblaje: Si las estructuras pudieran ensamblarse de forma autónoma en un momento y lugar específicos sin intervención, ya sea de sistemas humanos o electromecánicos, entonces se podrían construir estructuras o incluso edificios en lugares

de difícil acceso o peligrosos. En una escala macro, las antenas espaciales podrían autoconstruirse en el espacio exterior; y en una nanoescala, objetos diminutos podrían transportarse dentro del cuerpo humano hasta un lugar objetivo y autoensamblarse con fines médicos.

Autoadaptabilidad: Las estructuras impresas en 4D también pueden combinar detección y actuación dentro del material impreso, haciendo así que los sistemas electromecánicos sean superfluos. La consiguiente reducción de piezas, del tiempo de ensamblaje y del uso de materiales y energía se traduciría en menos costes. Imagine materiales de construcción que pueden adaptarse de forma autónoma a las condiciones meteorológicas.

Autorreparación: La capacidad de autoensamblarse requiere la capacidad de desensamblarse. Esto abre la puerta al concepto de autorreparación. Imaginen una fuga de agua en una tubería en una zona de guerra que pueda autorrepararse sin necesidad de sistemas de detección y localización o intervención humana; o tejidos inteligentes implantados médicamente que puedan autocurarse, reduciendo así la necesidad de procedimientos invasivos.

Estructuras inteligentes transformadoras

La impresión 4D exitosa requiere impresión 3D, materiales inteligentes (aquellos que reaccionan a un activador de estímulo ambiental externo), un estímulo externo (por ejemplo, temperatura, humedad, campo magnético, etc.), un mecanismo bien definido de interacción entre el estímulo y el material (por ejemplo, cambio de forma debido a la absorción de agua) y la aplicación de modelado matemático para diseñar la distribución y

funcionalidad del material y para predecir y programar el movimiento más adelante. De este modo, se consigue el cambio deseado en la forma, propiedad o función.

Para cambiar de forma, los materiales inteligentes deben poder doblarse, plegarse, girarse o retorcerse, una vez impresos, para lograr la estructura deseada.

—
Si las estructuras pudieran autoensamblarse sin intervención, podrían construirse estructuras en lugares peligrosos.

Por ejemplo, una capa plana de 2D podría convertirse en una forma cúbica en 3D autoplegándose →03a [2] o una lámina plana 2D podría adquirir una forma de flor en 3D al autorretorcerse o autorizarse cuando se sumerge en agua →03b [3] o un trozo de cable de 1D podría autoplegarse para convertirse en un marco 3D →03c [4–5].

Cambio de forma: una calle de doble sentido

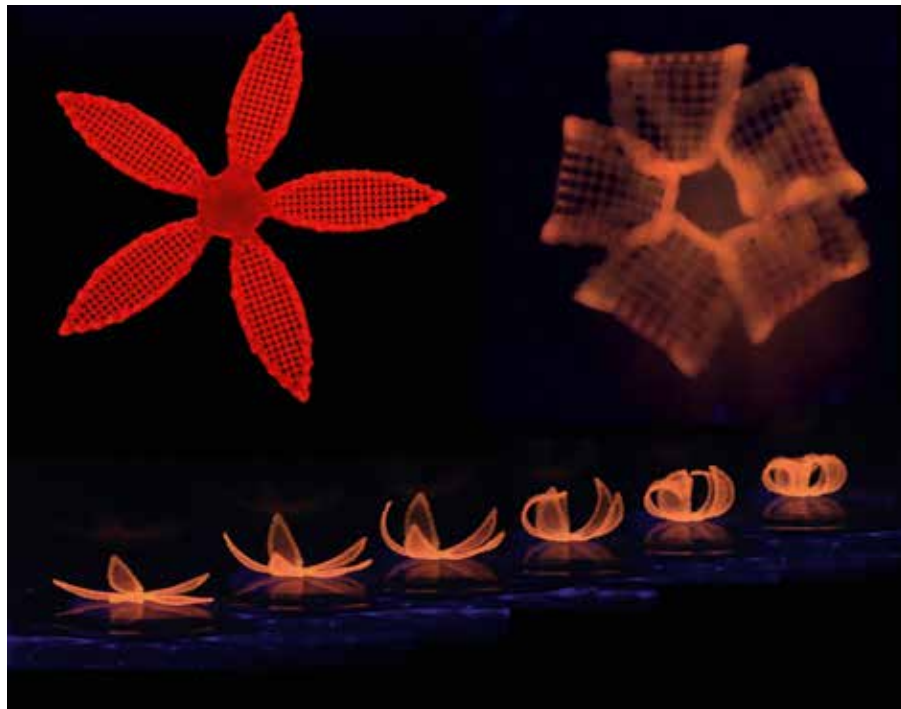
En la actualidad, se utilizan materiales con memoria de formas complejas (SMM) para «recordar» un estado específico: un efecto de memoria de forma (SME). Este efecto requiere al menos dos pasos de programación: se aplica el estímulo; la forma original del objeto impreso en 3D se transforma en un estado temporal en el que el objeto permanece hasta que se aplica un segundo estímulo para volver a cambiar

—
03 Los materiales inteligentes se doblan, curvan o retuercen una vez impresos hasta adquirir la forma deseada en un momento específico.

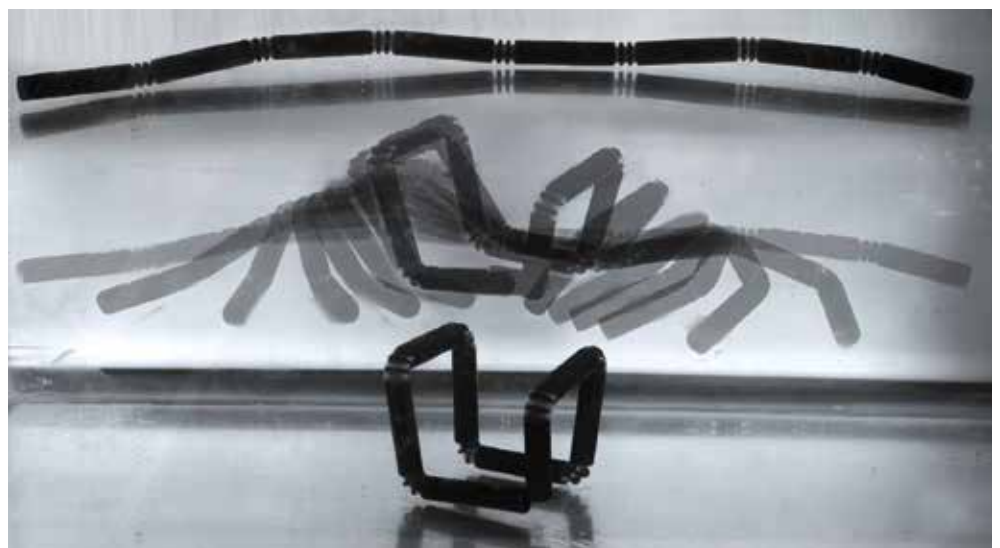
03a Una capa 2D se autoplega para formar un cubo.

03b Los materiales 4D de composiciones variables pueden adquirir formas específicas, mensurables y orgánicas como estos compuestos de hidrogel impresos que cambian de forma cuando se exponen al agua.

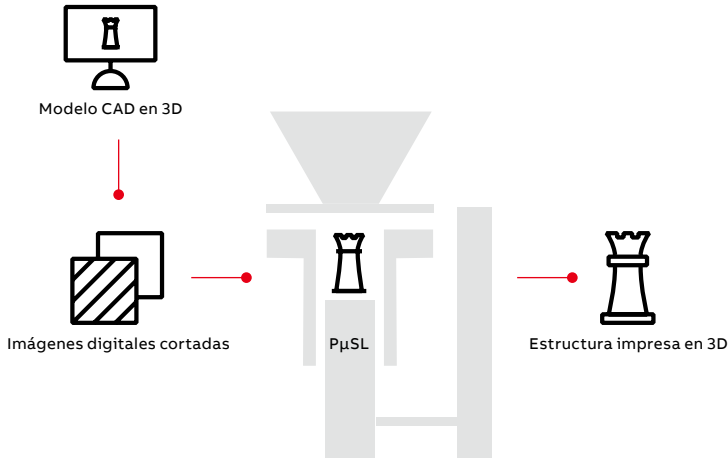
03c Un hilo 1D se autoplega hasta convertirse en una jaula de 3D. El hilo, compuesto de material de diseño, morfa cuando se sumerge en agua.



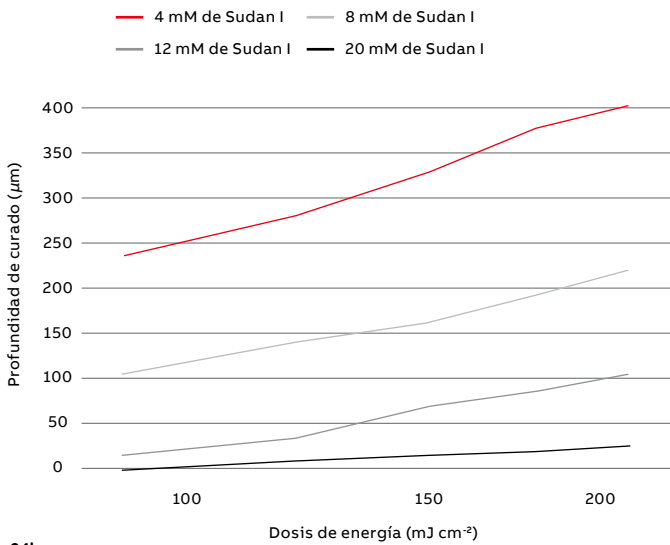
03b



03c



04a



04b



04c

el objeto a su forma original. Una vez alterada, la estructura puede, mediante programación o sin programación, recrear el estado temporal una y otra vez: un proceso reversible [6].

Los SMM más comunes explorados para la impresión 4D están basados en hidrogeles o elastómeros de cristal líquido, y diversos híbridos de los mismos. Estas sustancias poliméricas hidrófilas pueden absorber grandes cantidades de agua sin disolverse: se prefieren las variedades sintéticas debido a su larga vida útil y a la resistencia del gel [7]. Los elastómeros de cristal líquido son redes de polímero que pueden experimentar un cambio de forma de gran amplitud totalmente reversible. Combinan la elasticidad de los elastómeros con la autoorganización y, por tanto, la propiedad programable de los cristales líquidos. Debido a sus estructuras, este material es prometedor en biomedicina, por ejemplo, tejidos musculares artificiales y microrobots blandos.

La investigación y el desarrollo impulsan la expansión

Actualmente, otros centros de investigación de primer nivel como el Wyss Research Institute for Biomedical Research de la Universidad de Harvard, la Universidad

En la actualidad, se utilizan materiales de memoria de formas complejas para «recordar» un estado específico: un proceso reversible.

de Rutgers, el Swiss Federal Institute of Technology (ETH) de Zúrich y el California Institute of Technology (CIT) además del MIT están logrando avances espectaculares en impresión 4D.

La posibilidad de utilizar la impresión 4D para replicar biología está siendo estudiada por equipos del Instituto Wyss de la Universidad de Harvard, liderados por Jennifer Lewis. Estos investigadores estudian cómo el hidrogel cambia de forma y dimensiones en presencia de estímulos químicos, como el agua. Utilizado como tinta, el hidrogel permite que los objetos sobre los que imprime cambien de dimensiones para formar diferentes

—
04 El procedimiento para imprimir hidrogel sensible a la temperatura utilizando un proceso desarrollado en la Universidad de Rutgers [8].

04a Esquema que muestra el proceso de impresión P μ SL, que se basa en la luz UV.

04b Se muestran los resultados del estudio de profundidad de curado.

04c Se muestra la hinchazón asociada a la temperatura del hidrogel impreso.

estructuras similares a las que se encuentran en las flores. Las microestructuras tisulares y las composiciones de diferentes plantas cambian según su entorno. Este equipo de investigación replicó este proceso orgánico mezclando un hidrogel impreso en 4D con fibrillas de celulosa para crear compuestos programados para controlar la inflamación. Las formas de flores impresas en 3D cambian de forma cuando se exponen al agua, imitando así las respuestas de los órganos de la planta a la humedad, la temperatura u otros estímulos ambientales →03b.

Otros equipos están imprimiendo hidrogeles que responden a estímulos físicos, como la temperatura. En la Universidad de Rutgers, una técnica basada en litografía, microestéreo-litografía de proyección (P μ SL), geles impresos de cambio de forma en función de la temperatura en formas 3D. Estas estructuras impresas en 4D podrían utilizarse para desarrollar atenuadores en la robótica blanda o permitir la administración selectiva de fármacos →04 [8].

En el Jet Propulsion Laboratory de la NASA en CIT, los investigadores están estudiando tejidos de metal, lo que se conoce como cadena espacial. El tejido tiene cuatro funciones esenciales: reflectividad, gestión pasiva del calor, plegabilidad y resistencia a la tracción. Un lado del tejido refleja la luz, mientras que el otro la absorbe, actuando así como medio de control térmico. El tejido puede plegarse de muchas formas diferentes y adaptarse a las formas sin sucumbir a las influencias negativas de la fuerza. La capacidad de programar nuevas funciones en el material crea posibilidades casi infinitas. Un día estos materiales podrían llegar a utilizarse para construir grandes antenas en el espacio, crear trajes protectores para astronautas o actuar como escudos contra meteoritos [9].

Los investigadores, Kristina Shea y Tian Chen, de ETH Zurich, utilizaron una impresora Stratasys Objet3 Connex500 para crear objetos hechos de polímeros con memoria de forma, un polímero rígido resistente a la temperatura y un polímero similar a un elastómero. Los objetos se imprimieron como estructuras planas de 2D que se desplegaban en formas 3D con carga cuando se sumergían en agua tibia. La capacidad de alterar las capacidades de carga a lo largo del tiempo podría ser especialmente interesante en los campos de la exploración espacial, la arquitectura y la construcción y la industria del automóvil [10–11].

Retos y limitaciones

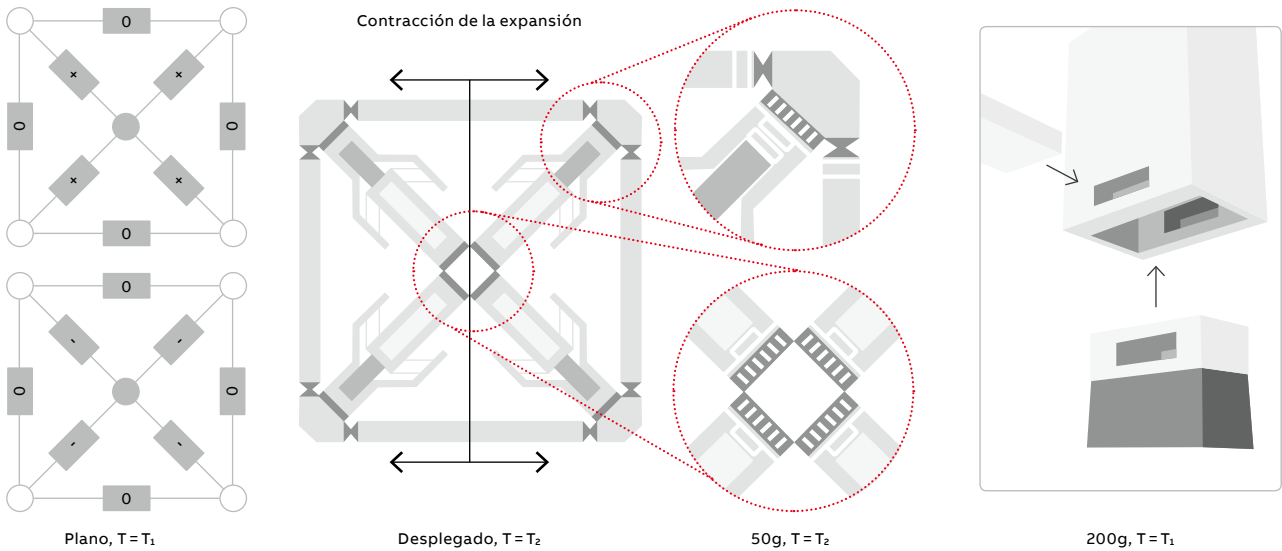
A pesar de los avances en la impresión 4D, deben abordarse desafíos y limitaciones antes de que la impresión 4D pueda salir de los laboratorios de investigación; entre ellos están la inercia física, los materiales, la durabilidad, los factores de dependencia y el coste. Actualmente, el proceso de transformación tarda entre milisegundos y segundos en completarse porque las moléculas grandes deben reubicarse, moviéndose a distancias específicas; este tiempo puede ser apropiado, demasiado lento o demasiado

—
La capacidad de programar nuevas funciones en tejidos metálicos crea muchas posibilidades, especialmente para su uso en la exploración espacial.

rápido en función de la aplicación (por ejemplo, para materiales de construcción el proceso sería correcto). Además, los materiales sensibles a los estímulos suelen estar hechos de una gama limitada de polímeros y, por lo tanto, restringidos a condiciones ambientales específicas, como el calor, la presión, los productos químicos, etc. Para aumentar la fiabilidad y la durabilidad de los materiales inteligentes, también podrían utilizarse compuestos que incluyen metales y cerámica. Y, dado que la transformación estructural y su duración dependen de múltiples factores, diferentes condiciones ambientales pueden causar diferentes tiempos de respuesta; esto podría ser problemático. Además, la impresión 4D está actualmente arraigada en nichos bien financiados, por ejemplo, médicos, militares y de lujo; pero se extenderá a los sectores principales en el futuro.

El futuro es 4D

Aunque actualmente está limitada a la investigación y el desarrollo, se espera que la promesa de beneficios dinamice la impresión 4D durante la próxima década. Los sectores sanitario, aeroespacial, defensa y automoción están empezando a aprovechar sus posibilidades.



05

— 05 Al combinar tipos específicos de polímeros funcionales (FLX9895), un polímero con memoria de forma; RGD525, un plástico rígido resistente a la temperatura; y Agilus30, un material similar a los elastómeros, con un mecanismo biestable, los investigadores lograron dos estados de equilibrio diferentes.

Sin embargo, aún queda por explorar debidamente toda una gama de posibilidades de diseño de productos y funcionalidades adicionales. Por ejemplo, podrían integrarse características de diseño con conexiones impresas en 4D, para permitir la facilidad de desensamblaje del producto, fomentando así la reutilización (o reciclado) de los componentes. Y, para cumplir con los requisitos medioambientales más amplios, se necesita una gama más amplia de materiales y compuestos adecuados. Además, se debe hacer más esfuerzo por controlar la estabilidad de los objetos impresos en 4D y optimizar el proceso de impresión 4D. No obstante, las empresas que deseen recoger los frutos de la innovación digital deberían contemplar el potencial sin precedentes de la impresión 4D, especialmente como facilitador para la creación de agentes autónomos en movimiento.

A medida que la Cuarta Revolución Industrial avanza; y los avances en el diseño inteligente de

— En el futuro, la impresión 4D podría permitir a los robots diseñarse, construirse y repararse a sí mismos en cualquier momento y en cualquier lugar.

materiales, la tecnología de impresión 4D y la robótica cobran impulso, antes de que nos demos cuenta, es posible que no solo puedan imprimirse brazos robóticos personalizados para soportar procesos industriales, sino que serán los propios robots los que puedan diseñarse, construirse y repararse a sí mismos, en cualquier lugar y en cualquier momento. ●

Referencias

- [1] Altair, ABB, "MX3D Robot Arm", 2019, Online. Available: <https://mx3d.com/projects/robot-arm/>
- [2] S. Tibbets et al., "4D Printing: multimaterial shape change" *Architect Design*, vol. 84, 2014, pp. 116–121.
- [3] Wyss Institute at Harvard, "Novel 4D printing method blossoms from botanical inspiration", 2016, Online. Available: <https://wyss.harvard.edu/news/novel-4dprinting-method/> Accessed on 9 Dec. 2019.
- [4] S. Tibbets et al., "4D printing and universal transformation", in *Material Agency*, 2014, pp. 539–548.
- [5] F. Momeni et al., "A review of 4D printing" in *Materials and Design*, 2017, pp. 42–79.
- [6] Zhou et al., "Reversible shape-shifting in polymeric materials", in *Journal of Polymer Science & Polymer Physics*, vol. 54, 2016, pp. 1365–1380.
- [7] "Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review", in *Journal of Advanced Research*, vol. 6 issue 2, 2015, pp. 105–121. Online. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123213000969>
- [8] D. Han, Z. Lu, C. Shaun and H. Lee, "Micro 3D Printing of a Temperature-Responsive Hydrogel Using Projection Micro-Stereolithography", in *Sci. Reports*, no. 8, 31 Jan. 2018, Online. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-20385-2>
- [9] NASA Jet Propulsion Laboratory, "Space Fabric links Fashion and Engineering", April 18, 2017, Online. Available: <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6816>
- [10] C. Scott, "ETH Zurich Researchers Develop 4D Printed Load-Bearing Polymer Structures", 2018, Online. Available: <https://3dprint.com/219758/eth-zurich-4d-printed-structures-2/>
- [11] Tian Chen and Kristina Shea, "An Autonomous Programmable Actuator and Shape Reconfigurable Structures Using Bistability and Shape Memory Polymers" in *3D Printing and Additive Manufacturing*, vol. 5, No 2. 1 June 2018 <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000267291>

Suscripción

Cómo suscribirse

Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbese en línea en www.abb.com/abbreview

ABB Review se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, chino y español. ABB Review es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y los objetivos de ABB.

Manténgase informado

¿Se ha perdido algún número de ABB Review? Regístrese para recibir un aviso por correo electrónico en abb.com/abbreview y no se perderá ninguno.



Cuando se registre para recibir este aviso, recibirá también un correo electrónico con un enlace de confirmación. No olvide confirmar el registro.

Consejo editorial

Consejo de redacción

Bazmi Husain

Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams

Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder

Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock

Technology and Innovation

Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Editorial

ABB Review es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Daettwil
Suiza
abb.review@ch.abb.com

La reproducción o reimpresión parcial está permitida a condición de citar la fuente. La reimpresión completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

Editorial y copyright ©2019
ABB Switzerland Ltd.
Baden/Suiza

Impresor

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn/Austria

Diseño

Publik. Agentur für
Kommunikation GmbH
Ludwigshafen/Alemania

Ilustraciones

Konica Minolta
Marketing Services
Londres
Reino Unido

Declaración de exención de responsabilidad

Las informaciones contenidas en esta revista reflejan el punto de vista de sus autores y tienen una finalidad puramente informativa. El lector no deberá actuar sobre la base de las afirmaciones contenidas en esta revista sin contar con asesoramiento profesional. Nuestras publicaciones están a disposición de los lectores sobre la base de que no implican asesoramiento técnico o profesional de ningún tipo por parte de los autores, ni opiniones sobre materias o hechos específicos, y no asumimos responsabilidad alguna en relación con el uso de las mismas.

Las empresas del Grupo ABB no garantizan ni aseguran –ni expresa ni implícitamente– el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

Edición para tablet

A finales de 2018 se suspendió la producción en la versión para tablet de ABB Review (para iOS y Android). Se recomienda a los lectores de las versiones para tablet que utilicen en su lugar las versiones en pdf o web. abb.com/abbreview

