

LA IMPRESIÓN EN 3D Y FABRICACIÓN ADITIVA – LAS CONSECUENCIAS PARA LA SEGURIDAD Y LA SALUD EN EL TRABAJO

Introducción

Este artículo sobre la impresión en 3D ha sido realizado en nombre de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA). En él se examinan algunas cuestiones clave sobre las oportunidades y los desafíos de la emergente industria de la impresión en 3D para los empresarios, los trabajadores y el nuevo emprendedor, que trabaja desde su casa o en espacios de trabajo informales. El objetivo de este documento de reflexión es introducir la impresión en 3D y explorar su posible impacto tanto en el entorno de trabajo existente como en el nuevo. Por último, se darán algunas recomendaciones a nivel europeo en cuanto a qué medidas pueden tomarse para asegurar que la impresión en 3D favorezca un entorno de trabajo más seguro, saludable y satisfactorio, en el contexto tanto de la relación empresario-trabajador como del nuevo «emprendedor autónomo» informal.

¿Qué es la impresión en 3D?

La impresión en 3D es el término de moda en el contexto de la innovación y la industria creativa. Pero su verdadero significado sigue sin estar claro para el público general. Existen diferentes nombres para esta nueva tecnología: fabricación aditiva, autoproducción, prototipado rápido, fabricación digital.¹ Como resultado del proceso totalmente informatizado de diseño y fabricación de productos, la impresión en 3D es parte del gran desarrollo de la fabricación digital.² Sin embargo, el uso del término «impresión en 3D» para denominar de forma general el amplio abanico de nuevas técnicas de producción digital, tales como máquinas fresadoras CNC (control numérico computarizado), cortadoras láser, trazadores gráficos de acero y otros, es engañosa. Por ejemplo, el CNC es una técnica tradicional de fresado, pero los movimientos de la máquina se controlan de forma digital. Aunque todas ellas ofrecen la misma libertad en cuanto a formas y singularidad, la fabricación digital se basa mayoritariamente en sustraer material de un sólido mediante fresado, aserrado o corte. Con la impresión en 3D, un producto se construye desde cero mediante la adición de material. La descripción más concisa sería, por lo tanto, fabricación aditiva.³ En el futuro, estas dos técnicas digitales (sustracción y adición) se utilizarán de una forma flexible: una máquina CNC robotizada puede transformarse fácilmente de producción sustractiva a aditiva, simplemente cambiando el cabezal.

En este artículo, la expresión «impresión en 3D» se limitará a diferentes técnicas de fabricación de productos que existen solo como archivos informáticos mediante el uso de una máquina que añade materia prima en capas hasta que se forma un producto terminado.⁴ Comienza con el diseño de un producto en un ordenador. El documento de este diseño asistido por ordenador (un archivo CAD) no es más que una compleja orden de impresión.

¿Cómo funciona?

El diseño generado por ordenador se divide digitalmente en miles de capas; este proceso se realiza mediante el software que prepara el diseño para una orden de impresión. Otra forma de generar el

1 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

2 <http://www.wired.co.uk/article/digital-fabrication>

3 <https://3dprint.com/82272/what-3d-printing-works/>

4 <http://additivemanufacturing.com/basics/>

archivo de impresión digital de un producto es mediante el escaneado 3D de un objeto existente. Estos datos se pueden transformar en una orden de impresión con un software especial. Estos escáneres pueden costar entre 50 y 50 000 EUR. Una impresora 3D de escritorio costará alrededor de 1 000 EUR.

Una impresora 3D profesional para prototipos y producción de edición limitada costará entre 2 000 y 20 000 EUR. Cuando se quiera sustituir la producción a gran escala existente por impresión en 3D, se requerirán inversiones del orden de 1 millón EUR o incluso superiores.

La técnica de impresión 3D actual puede dividirse en dos procesos técnicos diferentes. El impacto que tendrán en el futuro del diseño, la fabricación y la distribución de bienes será también diferente: la técnica de curado se utiliza en la industria profesional altamente avanzada, mientras que la técnica de extrusión es menos precisa y se utiliza más generalmente en el mercado de consumo y experimentos en impresión en 3D de enfoque ascendente.⁵

Curado

La técnica de curado utiliza un cabezal de impresión (equipado con un láser, un proyector de rayos ultravioleta (UV), un calentador, etc.) para curar un material sintético que es pulverizado. La calidad es mejor y se puede utilizar una variedad más amplia de materiales. También exige un mayor grado de conocimiento y precisión, y es más costoso. Estas impresoras 3D son más caras y también lo son los materiales utilizados. El curado se utiliza principalmente en procesos altamente avanzados y (semi) industriales.

Extrusión

La técnica de extrusión implica la deposición de un material que se extrude en una coreografía exacta de tiempo y espacio. Este es el proceso usado más habitualmente por las impresoras 3D de código abierto y accesibles para el usuario, que normalmente vienen como un kit de construcción de madera contrachapada (por ejemplo, Makerbot, Ultimaker, Airwolf). El material extruido puede ser líquido, polvo, un filamento sintético u otro material orgánico tal como la cerámica o el caucho. Muchas de estas impresoras se venden como un kit de bricolaje. La producción es más rápida y más barata, pero el producto final no es tan refinado.

Materiales nuevos y antiguos

Los primeros materiales que se aplicaron en la impresión en 3D eran plásticos sintéticos. La cantidad de materiales que se pueden utilizar con las impresoras 3D ha aumentado mucho en los últimos 10 años. Ahora, los materiales «tradicionales» tales como la cerámica, el acero, el vidrio y hasta la madera también son muy utilizados. Algunas investigaciones han demostrado que las impresoras 3D de escritorio puede plantear riesgos de emisión de un gran número de partículas ultrafinas (UFP; partículas de menos de 100 nm) y algunos compuestos orgánicos volátiles peligrosos (COV) durante la impresión, aunque muy pocas combinaciones de filamentos e impresoras 3D han sido probados hasta la fecha⁶.

Los materiales utilizados para la impresión en 3D en un contexto industrial difieren de aquellos utilizados en un entorno doméstico. En este último, los materiales utilizados más habitualmente son el ácido poliláctico (PLA) biodegradable y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), un plástico a base de aceite y por lo tanto más tóxico en el uso. Se recomienda la ventilación con el PLA y es necesaria con el ABS.⁷

El material más utilizado en el proceso de impresión en 3D industrial es la poliamida (por ejemplo, el nailon) tanto en forma líquida como en polvo, que es un plástico a base de aceite. Durante el

⁵ <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>

⁶ <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b04983>

⁷ <https://all3dp.com/pla-abs-3d-printer-filaments-compared/>

calentamiento, se liberan gases tóxicos y por lo tanto se necesita ventilación. O, aún mejor, confinar la impresora para evitar que las emisiones se propaguen al aire en el lugar de trabajo.

En ciertas técnicas, tales como la estereolitografía o el tratamiento superficial de objetos impresos, se utilizan componentes químicos plásticos como por ejemplo las resinas epoxi. Estos pueden provocar dermatitis alérgica por contacto. No deben tocarse los componentes químicos plásticos sin curar y debe evitarse la contaminación de las superficies y la ropa. Otros productos químicos utilizados para el postprocesado y tratamiento de la superficie pueden ser también peligrosos y deben ser manejados con precaución.

La poliamida en forma de polvo a veces se mezcla con aluminio (alumida) que, aunque es menos tóxico, sigue requiriendo medidas especiales de prevención en materia de seguridad y salud. Otros materiales empleados a nivel industrial son la polisulfona (PSU) y la polifenilsulfona (PPSU), que son plásticos sintéticos que requieren medidas preventivas en términos de ventilación y manipulación.⁸ El segmento de mayor crecimiento en la impresión en 3D es el uso de metal.⁹ Esta actividad requiere adoptar medidas preventivas de ventilación, ya que el metal se combina con productos sintéticos a base de aceite. Las altas temperaturas también exigen medidas de seguridad y manipulación. En el caso de impresión en metal, debe tenerse en cuenta que los metales pueden ser cancerígenos y que, por lo tanto, es necesario el uso de protección respiratoria cuando se manipulan tales polvos.

Entre los nuevos materiales se encuentran los materiales inteligentes, que reaccionan a las diferencias de temperatura, presión o luz después de la fabricación. También son nuevos los nanocarbonos, que se espera utilizar a gran escala industrial en un futuro próximo. La introducción de estos materiales de alta tecnología requiere una profunda investigación en cuanto a seguridad, ya que la mayoría de ellos son todavía experimentales.¹⁰

Otro aspecto importante que hay que tener en cuenta es la manipulación previa y posterior de los materiales de impresión y objetos impresos. En el caso de material de impresión en forma de polvo, es importante evitar que los polvos se propaguen mediante, por ejemplo, la ventilación local por extracción (LEV, por sus siglas en inglés) y asegurar así métodos de trabajo adecuados. Existe también un riesgo de combustión espontánea de polvos (metálicos), que debe reconocerse, por ejemplo, mediante el uso de dispositivos EX (dispositivos de detección en áreas potencialmente explosivas).

La promesa de una nueva revolución industrial

Vivimos en una era digital. Los medios sociales están alterando el periodismo tradicional.¹¹ Las compras en línea están provocando el cierre de muchas tiendas tradicionales y han desgarrado nuestras vibrantes ciudades. La compra en línea está cambiando incluso las circunstancias laborales, ya que está altamente automatizada. La robótica cambiará la manera en que conducimos nuestros automóviles y gestionamos nuestros hogares. Y, por último, también la forma en que diseñamos, fabricamos y distribuimos nuestros productos de consumo en esta era digital cambiará con la impresión en 3D. Las expectativas creadas por la impresión en 3D eran tan altas unos años atrás que se habló de una inminente nueva revolución industrial. Al menos, este fue el mensaje del influyente informe de 12 páginas publicado por *The Economist* en 2012.

⁸ <http://www.stratasys.com/materials/material-safety-data-sheets/fdm>

⁹ <https://www.3dprintingmaterialsconference.com/3d-printing-materials/metals-are-the-fastest-growing-segment-of-3d-printing-metal-sales-growing-by-32/>

¹⁰ <https://www.sculpteo.com/blog/2016/09/28/top-10-future-3d-printing-materials-that-exist-in-the-present/>

¹¹ <http://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/news/how-journalism-faces-second-wave-disruption-technology-and-changing-audience-behaviour-0>



The Economist, abril de 2012

En ese momento, las predicciones eran que la impresora en 3D era una nueva herramienta digital que pronto estaría en todos los hogares. Eso significaría el fin de la fabricación en serie. Mejor dicho, *The Economist* predijo una revolución *postindustrial*. Cualquiera podría descargarse los planes digitales de un producto a través de internet e imprimirlo en casa con solo pulsar un botón. Podrían hacerse alteraciones del producto; por ejemplo, las personas con pies anchos podrían imprimir un zapato un poco más ancho sin problema. Esta producción única y a medida costaría tanto como la producción en serie en una fábrica china y, por lo tanto, socavaría el statu quo económico de producción existente. Habría menos demanda de nuevos productos; la reparación se generalizaría porque las piezas de recambio de los aparatos rotos también podrían reproducirse en casa fácilmente con una impresora en 3D. Dado que la fabricación se trasladaría a los hogares, el tiempo y la energía que se gastarían en la distribución de productos se reducirían. Además, la oferta y la demanda estarían bajo control, ya que la gente solo imprimiría lo que necesitara. Esto significaría ni stock ni sobreproducción; esta nueva revolución industrial podría ser también ecológica.¹²

La fecha del artículo de *The Economist* no fue una coincidencia. La técnica de la impresión en 3D ya existía a mediados de los ochenta. La estereolitografía la patentó el científico francés Alain Le Mehaute en 1984. Sin embargo, se tardó 10 años antes de que el término «impresión en 3D» se acuñara. En ese momento solo las industrias altamente especializadas como el sector de la medicina, la fabricación de automóviles y la ingeniería aeroespacial estaban experimentando con impresoras en 3D de alta tecnología para una producción prototipada y flexible. Sin embargo, no fue hasta la primera década del siglo XXI cuando finalmente se lograron grandes avances. La impresión en 3D a gran escala se hizo posible no solo con los plásticos, sino también con los metales, materiales conductores, vidrio, cerámica e incluso tejidos orgánicos. Grandes empresas como Canon y Siemens comenzaron a investigar el mercado de impresoras en 3D fáciles de usar para el consumidor. Makerbot, una empresa estadounidense, vendió la primera impresora en 3D de escritorio por poco más de 1 000 EUR en 2008, haciendo accesible la tecnología de impresión en 3D al gran público. Al mismo tiempo, el proyecto de investigación RepRap (replicating rapid prototyper) desarrolló una impresora de escritorio rudimentaria, que consistía principalmente en piezas de plástico que podían realizarse con una impresora de escritorio. Las piezas mecánicas de RepRap podían encargarse en línea. En otras palabras, el RepRap fue la primera impresora en 3D que podía replicarse a sí misma y, por solo, poco más de 200 EUR. El software para ejecutar un RepRap es libre y de código abierto.

En pocas palabras, en una década, la impresión en 3D pasó de ser un método de producir futurista utilizado solo por los fanáticos de la informática, diseñadores de vanguardia e industrias de alta tecnología, a una herramienta accesible al público general y fácil de usar para el consumidor, para una fabricación doméstica flexible. O, como decía *The Economist*, «el inicio de una nueva revolución

12 <https://3dprint.com/144928/3d-printing-environmental/>

industrial». El impacto de la impresión en 3D en la economía y a escala tanto social como humana. Ante todo, la mejora en el bienestar y los progresos resultantes de la fabricación eficiente y a medida, pueden ser significativos. La impresión en 3D introduce un método de producción local y a demanda, y por lo tanto más sostenible. Dado que la impresión en 3D se basa en una estructura de código abierto, está más enfocada a las nuevas empresas y la innovación a pequeña escala que a la industria de fabricación tradicional. Por lo tanto, no solo será una revolución industrial más ecológica, sino también más imparcial y que capacitará a los consumidores.

El impacto de la impresión en 3D se puede dividir en dos niveles:

▪ Social

La impresión en 3D fortalecerá la inclusión social. Con una inversión mínima, cualquier persona será capaz de iniciar una pequeña empresa desde cero. Todo lo que se necesita es un ordenador, una impresora en 3D y una conexión rápida a internet. Los conocimientos, las ideas y, en gran medida, el software necesarios se intercambian de manera gratuita. La fabricación digital ha generado un «movimiento creador» de consumidores que fabrican productos. Aunque el movimiento creador combina la piratería informática, las artes tradicionales y los experimentos científicos, la impresora en 3D está considerada el corazón de esta tendencia mundial. El impacto del movimiento creador a nivel económico y social es innegable. Lo que Airbnb ha supuesto para el negocio hotelero es lo que la impresión en 3D puede suponer para la producción industrial: la democratización radical del diseño, la fabricación y la distribución. Pero también tiene la misma pérdida de control en cuanto a las condiciones en las que se desarrolla la actividad.

▪ Individual

En resumen, la impresión en 3D permite el acceso individual a mejores productos. Los deseos y las necesidades individuales pueden satisfacerse más fácilmente. Además, los productos estarán hechos de componentes reemplazables y descargables, lo que facilitará su reparación. El consumidor productor, o *prosumidor*, estará empoderado y podrá mejorar su vida cotidiana. El mayor impacto que la impresión en 3D tendrá en el individuo será probablemente a nivel psicológico. Como señaló el sociólogo Richard Sennett en su libro *The Craftsman*, la fabricación de bienes es una necesidad fuertemente arraigada en los seres humanos. Permite el autodesarrollo, la autoestima y la autorrealización. Somos lo que hacemos, por así decirlo. En nuestros días, un movimiento creador, posible gracias a la fabricación digital accesible como la impresión en 3D, proporciona autonomía al individuo y ofrece a la gente oportunidades para dar forma a sus propias vidas, tanto psicológica como materialmente. Este movimiento creador también proporciona nuevas redes sociales y cohesión, ya que la información y el conocimiento se comparten de manera gratuita. La feria mundial Maker Faires reúne a estos productores de aficionados. Podría decirse que la impresión en 3D introduce un movimiento en el que todos nosotros somos productores aficionados.



Maker Faire

Una evolución en lugar de una revolución

Pero ahora, cinco años después del artículo en *The Economist*, esa revolución aún no ha empezado. Ni mucho menos. La impresión en 3D no es ni siquiera una corriente mayoritaria.¹³ Makerbot casi se declaró en quiebra en 2015 y RepRap apenas ha mejorado desde su lanzamiento. Debido a la naturaleza desorganizada y fragmentada de la industria de la impresión en 3D, apenas hay cifras sobre su contribución económica a escala europea. Sin embargo, hay estimaciones fiables de que, en los países europeos más desarrollados, menos del 1 % de la población posee actualmente una impresora en 3D. Sin embargo, la mayoría de los productos impresos en 3D se fabrican en el hogar y se distribuyen en la economía compartida. La impresión en 3D a nivel industrial es todavía menor que la producción doméstica. Para dar un ejemplo, la contribución económica de todo el sector de la impresión en 3D en los Países Bajos en 2015 se estimó en alrededor de 45 millones EUR, lo que representa el 0,005 % del producto nacional bruto total (PNB) del país que es de 888 000 millones EUR. Nada sugiere que esta cifra sea significativamente mayor en otros países de la Unión Europea (UE). El crecimiento medio anual de la industria de la impresión en 3D en los últimos cinco años fue del 30 %. Incluso si esta cifra se duplicara, se necesitarían al menos otros cinco años para que la impresión en 3D pudiera competir con un sector económico como la industria de la música pop. El impacto de la impresión en 3D es difícil de predecir. Sin embargo, una cosa está clara: no reemplazará la industria existente, sino que la complementará.

Está apareciendo una división en el uso de la impresión en 3D. Por un lado, está emergiendo una industria nueva, altamente avanzada y flexible. Estas empresas trabajan en campos como el sector de la medicina y la industria del automóvil, pero también en la moda y en los productos de consumo diario. Por otro lado, la producción a pequeña escala y, a veces, casi de baja tecnología, del aficionado al bricolaje está creciendo. Estas microfábricas y empresas de nueva creación las han iniciado diseñadores, cooperativas, pequeñas empresas y redes informales. Sin embargo, lo que todavía no se ha producido es el uso generalizado de la impresión en 3D a más gran nivel por parte de los consumidores. El movimiento creador consiste en aficionados expertos y usuarios pioneros.

Una nueva industria con impresoras 3D

Oportunidades y riesgos para los empresarios

La impresión en 3D ofrece nuevos modelos de negocio. La plataforma en línea Open Desk, con sede en Londres, ni siquiera tiene una unidad de producción. Ofrece una colección de muebles de diseñadores de todo el mundo. Todos los muebles están hechos con tablas de madera. Cuando un cliente realiza un pedido, Open Desk busca el centro de trabajo de fabricación digital más cercano al cliente. Tras pagar los costes de producción al centro de trabajo, el beneficio se divide entre Open Desk y el diseñador. De este modo, una empresa de muebles operativa a nivel internacional necesita poco más que un escritorio como centro de gestión. Shapeways es una empresa internacional donde la gente puede mandar a imprimir sus propios diseños. Además, los diseñadores profesionales también pueden subir sus diseños para que los clientes los puedan encargar. Cuando se realiza un pedido, Shapeways paga al diseñador por sus derechos de autoría. Esta fábrica de producción a demanda tiene, por ahora, sede solo en Nueva York, pero pronto se expandirá a diferentes lugares de todo el mundo.

Los nuevos desafíos para las empresas que trabajan a tan gran escala con impresoras 3D incluyen la salud y la seguridad en el trabajo.¹⁴ Esto concierne a cuestiones como la exposición a gases y materiales, manipulación de material, electricidad estática, movimiento de piezas y presiones.¹⁵

Además, es necesaria la estricta supervisión de los trabajadores por razones de derechos de autor y producción ilegal. Cuando se fabrica una réplica de una figura de Star Wars, se pueden estar vulnerando derechos de la propiedad intelectual. Ahora bien, en quién recae la responsabilidad: ¿en el diseñador, en Shapeways o en el comprador? Dado que la impresión en 3D requiere un proceso

¹³ <http://www.techrepublic.com/article/why-desktop-3d-printing-still-sucks/>

¹⁴ <http://www.cmu.edu/ehs/fact-sheets/3D-Printing-Safety.pdf>

¹⁵ <http://www.additivemanufacturing.media/articles/changing-the-rules>

muy preciso, el lugar de trabajo debe estar muy limpio y organizado, y las interfaces de usuario deben presentar instrucciones claras e inteligibles. Es fácil que ocurran errores de programación o de ajuste y calibrado de la impresora. Además, un producto con mal funcionamiento comportará acciones legales más fácilmente, ya que el consumidor moderno está muy preparado.



Shapeways

También se debe prestar especial atención a la seguridad cuando se introducen productos nuevos. Un ejemplo es «De Kamermaker», una unidad de impresora 3D para arquitectura desarrollada por la firma holandesa de arquitectos DUS Architects. Con esta inmensa impresora 3D se pueden imprimir elementos de construcción de 50 cm por 50 cm. Pero, ¿qué implica esto para la seguridad de los trabajadores de la construcción? En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) de Boston, un grupo de investigación llamado Mediated Matters, capitaneado por Neri Oxman, está experimentando con construcciones impresas en 3D que están basadas en formas y configuraciones naturales. También se está extendiendo la fabricación híbrida, en la cual solo algunas partes del producto están impresas en 3D.

Algo de lo que también carece la industria de la impresión en 3D es de un sistema estándar universal que puedan utilizar tanto los particulares como la industria emergente. Esto permitirá compartir piezas, lo cual redundará tanto en beneficio de la sostenibilidad como de la seguridad.

El estudio de diseño italo-japonés Minale Maeda está produciendo Keystones, una pieza de unión impresa en 3D que permite construir sus propios muebles usando placas de madera estandarizadas. La fuerza y la resistencia a la tracción de estas piezas deben ser validadas y certificadas. A menudo estos nuevos productos y técnicas son desarrollados por personal específicamente formado dentro de una empresa. Pero, ¿quién controla la autoría de estas innovaciones? Si no se regula adecuadamente, esto puede causar tensiones entre empresario y trabajador.

La innovación de un equipo de producción existente con impresión en 3D requerirá inversiones elevadas. La ventaja es que ya no será necesario invertir en moldes o maquinaria especial para someter a prueba los prototipos. Los nuevos productos se pueden lanzar al mercado casi inmediatamente y con unos costes relativamente bajos. Las nuevas técnicas también abren nuevas posibilidades. Por ejemplo, el lápiz 3D es una impresora que parece un lápiz y permite dibujar en 3D. Por motivos de seguridad y de salud, estas nuevas y prácticas impresoras 3D deben ser minuciosamente examinadas y estrictamente reguladas, ya que su calentamiento puede suponer una amenaza para la salud. Cada vez más lápices de este tipo utilizan luz ultravioleta.

Hay una nueva generación de *millenials* que se ven atraídos por los sectores digitales e innovadores como la impresión en 3D, y que tienen exigencias diferentes en cuanto a la calidad del trabajo. En general, esto significa que habrá una demanda creciente de trabajadores jóvenes que tienen una actitud diferente respecto al trabajo: priorizan el tiempo libre y el desarrollo personal respecto al dinero y la seguridad laboral. Los contratos a corto plazo son el nuevo estándar. En compensación, los trabajadores jóvenes demandan participación (creativa) y un entorno dinámico.

Estas novedades e innovaciones constantes requieren investigación y desarrollo continuados, así como inversiones en trabajadores altamente cualificados y en su constante formación y educación.¹⁶

El siguiente cuadro muestra el cambio de las condiciones de trabajo entre producción flexible y bajo demanda con impresión en 3D y producción industrial tradicional.

Cuadro1: El cambio en las condiciones de trabajo

Industria tradicional	Fabricación digital
Jerarquía	Democratizados
Centralizados	Abiertos
Regulación	Responsabilidad
Basados en la producción	Basados en la comunicación
Promoción	Formación
Seguridad laboral/económica	Libertad y flexibilidad

Las implicaciones para los empleados y sus puestos de trabajo

En cuanto al futuro de los puestos de trabajo, la cuestión clave respecto a la impresión en 3D (como en el caso de la robótica y otras producciones automatizadas) es: ¿reemplazará o cambiará el trabajo existente? La respuesta es sí y no.¹⁷

Sí, porque las máquinas sustituirán la producción flexible y artesanal. La artesanía se digitaliza. Con una impresora 3D, los objetos se pueden fabricar en las formas elaboradas y complejas que antes solo podían realizar los artesanos expertos. Con la introducción de la impresión en 3D de materiales como el metal o la madera, las artesanías tradicionales se están volviendo obsoletas.

Por otro lado, esto no tiene por qué desembocar en más desempleo. Para empezar, la impresión en 3D también introducirá nuevos empleos, por ejemplo en diseño y producción de hardware (por ejemplo, impresoras 3D) y, lo que es más importante, en creación de software que permita a la maquinaria el desarrollo de varias tareas.¹⁸ Además, la impresión en 3D puede ampliar el mercado global. Al mismo tiempo, se está incrementando la producción local. Así pues, los trabajos que se estaban externalizando a países con sueldos bajos pueden volver a Europa. Esto significa que se necesitarán trabajadores cualificados, aunque la demanda de trabajadores de artículos artesanales simples va a disminuir. Y esto significa que se incrementará la distancia entre trabajadores más cualificados y menos cualificados.

El uso predominante de plásticos en la impresión 3D traerá un gran cambio en las condiciones laborales actuales. Es esencial la regulación y certificación de estos materiales sintéticos. La producción con impresoras 3D es cara y requiere tiempo.

Como sucede con otras tecnologías digitales (robots, inteligencia artificial, etc.) las consecuencias para los que realicen estas tareas rutinarias pueden ser profundas. El trabajo puede resultar aburrido y poco creativo en extremo, como el mirar cómo se seca la pintura. Al mismo tiempo, las técnicas de

¹⁶ <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.html>

¹⁷ <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.5437/08956308X5606193>

¹⁸ <http://www.forbes.com/forbes/welcome/?toURL=http://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2014/09/15/demand-for-3d-printing-skills-is-accelerating-globally/&refURL=https://www.google.nl/&referrer=https://www.google.nl/>

impresión en 3D todavía son relativamente complejas y exigen un alto grado de concentración. Es fácil cometer errores, y el más mínimo error puede llevar a fallos importantes en el producto final.

Con todo el ruido que le rodea, la impresión en 3D es una industria atractiva. Como sucede con muchas empresas emergentes, se insta a los trabajadores a invertir muchas horas; además, la línea entre actividades laborales y no laborales se difumina fácilmente. La mayoría de las empresas que trabajan en impresión en 3D son jóvenes y crecen rápidamente y están, en consecuencia, menos organizadas. Con un personal cambiante, la organización entre trabajadores resulta difícil. Esto plantea dudas razonables respecto a la paga, las horas de trabajo y la seguridad e higiene de las condiciones de trabajo.

Iniciar tu propio negocio en casa

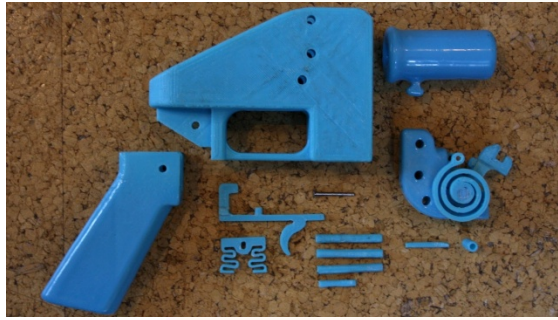
Con la impresión en 3D se introduce una nueva cadena de producción más informal. Este democrático «movimiento creador» permite que la gente empiece sus propios negocios desde casa. Como Steve Jobs, que era un experimentado emprendedor informático cuando empezó una empresa desde su garaje, la mayoría de las pequeñas empresas y empresas emergentes de impresión en 3D están dirigidas por semiprofesionales. Todo ello conforma una industria altamente desorganizada difícil de regular. Un emprendedor autónomo de impresión en 3D puede estar trabajando desde casa o desde un espacio informal que use como oficina (como, por ejemplo, un garaje) que resulte poco apropiado como entorno profesional. La ergonomía, el aire limpio, la jornada laboral y un equilibrio sano entre el hogar y el lugar de trabajo están comprometidos.

El mayor desafío para los trabajadores autónomos que trabajan en impresión en 3D es, de lejos, la inseguridad. Cuando todo el mundo pueda convertirse en un fabricante de impresión en 3D, la competición entre estos trabajadores colaborativos puede conllevar una gran presión. El mercado ha mostrado grandes dificultades a la hora de regular el precio de estos servicios de impresión en 3D. Este estrés económico se acentúa todavía más por la falta de derechos sociales y regulación financiera. Lo que parece una vanguardia creativa puede, de hecho, convertirse en un nuevo proletariado digital. En esta *economía de bolos*, como se le llama en los Estados Unidos, los trabajadores autónomos de impresión en 3D saltan de un encargo a otro. Existe un alto riesgo de surgimiento de una nueva clase de obreros cualificados de hoy en día. Incluso el que fabrica desde casa, que mantiene el control de las ventas y la distribución ofreciendo su producto en plataformas en línea como Etsy o eBay, no está a salvo. El anticuado control de las horas de trabajo es sustituido por la presión de las valoraciones en línea. La promesa de una economía poscapitalista puede resultar en una forma de hipercapitalismo donde mucha gente controle la producción pero nadie controle el límite mínimo de seguridad social y económica.

Este nuevo tipo de empresas pequeñas ofrecen oportunidades laborales dinámicas, pero inseguras. En esta industria de rápido desarrollo, la innovación de hoy puede ser la obsolescencia de mañana. En empresas en las que la división legal entre el diseñador, el fabricante y el emprendedor es difusa, la responsabilidad en caso de mal funcionamiento o calidad inferior no queda clara. Esto crea incertidumbre en cuanto a la responsabilidad. Con todo tipo de productos disponibles libremente por descarga (ilegal) de internet, la piratería y la violación de los derechos de autor son inminentes.¹⁹ Son necesarios una regulación y contratos laborales fiables. Aparte de estas cuestiones legales, esto también plantea el problema de nuevos dilemas éticos. La Liberator Gun es una pistola que se puede imprimir con una impresora 3D y un ordenador de sobremesa tras descargarse de internet instrucciones de impresión gratuitas.²⁰

19 <https://www.technologysleagle.com/2015/09/top-3-legal-issues-of-3d-printing/>

20 <http://www.3ders.org/articles/20151130-what-are-the-legal-aspects-of-3d-printing-a-european-law-firm-weighs-in.html>



Liberator Gun

Mención especial merece el «FabLab» (un acrónimo del inglés de «laboratorio de fabricación»), un espacio de trabajo cooperativo con dispositivos analógicos y digitales. El FabLab juega un papel importante en el empoderamiento de los particulares, permitiéndoles crear dispositivos inteligentes por sí mismos. Es, podría decirse, el eslabón perdido entre la impresión en 3D en casa para uso personal y un nuevo negocio. Un FabLab está abierto al público general bajo la condición de que el proceso de producción esté documentado. Con más de 250 FabLabs en todo el mundo (unos 100 en Europa), se ha creado una de las bases de datos más amplias de código abierto de impresión en 3D y otros tipos de fabricación digital. El número de FabLabs sigue creciendo. La mayoría son sin ánimo de lucro y ofrecen servicios gratuitos para individuos, como cursos y talleres; el número de FabLabs comerciales también se ha incrementado. Dado que estos espacios de trabajo se gestionan de manera informal, no siempre se dan las condiciones de trabajo necesarias. Con dispositivos sensibles como cortadoras láser y máquinas fresadoras, se debe prestar especial atención a la seguridad en estos lugares de trabajo. Además, es fácil que no se cumplan una edad mínima y un máximo de horas.



FabLab

Indicios de futuro

Las nuevas innovaciones tendrán un impacto profundo en la impresión en 3D y el ambiente en el lugar de trabajo. Las cinco innovaciones más importantes que se introducirán son:

Alimentos

La flexibilidad de producción y la libertad creativa ofrecen grandes oportunidades para la industria alimentaria. Actualmente, en la impresión en 3D se usan sobre todo alimentos líquidos, como las mezclas para crepes y chocolate. En un futuro cercano, la impresión en 3D se usará para alimentos crudos que vayan a ser sometidos a tratamientos como el calentamiento o procesos naturales como

la fermentación o la germinación. Esto plantea nuevos retos para la higiene, la seguridad y las condiciones laborales en general (aire limpio, ergonomía, etc.).

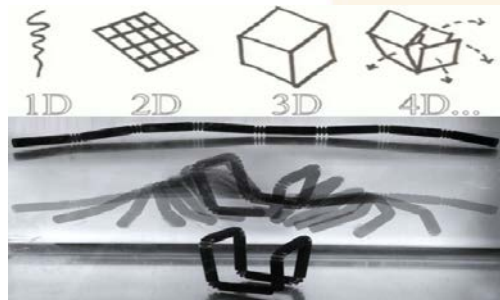


Impresión de alimentos en 3D

Impresión en 4D y materiales inteligentes

Los materiales inteligentes tienen una o más propiedades que pueden cambiar significativamente, de manera controlada, mediante estímulos externos tales como la temperatura, la fuerza, la luz, la humedad, el pH y los campos eléctricos o magnéticos. Cuando se usan con una impresora en 3D, estos materiales inteligentes pueden producir objetos que responden a su entorno cambiando de forma, textura o dureza. A este proceso se le llama impresión en 4D, ya que los objetos cambiarán una y otra vez a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden responder a la fotosensibilidad, a la presión o a la temperatura. Algunos de estos materiales pueden tener una «memoria»; esto significa que volverán a su forma original cuando las circunstancias vuelvan a cambiar. Muchos de estos materiales son altamente experimentales y los riesgos que suponen para la salud y la higiene son inciertos. Ha habido peticiones para su regulación.²¹

Impresión en 4D



Impresión en 4D

Bioimpresión

Se llama bioimpresión a la impresión en 3D de tejido orgánico o vivo. Las bioimpresoras expelen células desde un cabezal de la bioimpresora que se desplaza a la derecha y la izquierda, adelante y atrás, y arriba y abajo para situarlas exactamente donde se necesita. Tras un tiempo determinado, esto permite construir un objeto orgánico formado por multitud de finas capas.²² Además de expeler células, las bioimpresoras también pueden expulsar un gel soluble para ayudar y proteger a las

²¹ <http://journal.georgetown.edu/programmable-matter-4d-printings-promises-and-risks/>

²² <http://www.explainingthefuture.com/bioprinting.html>

células durante o después de la impresión. Ha habido muchos experimentos exitosos de impresión de materiales «vivos» que contenían hongos o algas. Al igual que ocurre con los materiales inteligentes, esta técnica puede suponer riesgos para la salud y la higiene y plantea, además, cuestiones éticas.²³



Bioimpresión

Nanoimpresión

Gracias a la combinación de la impresión en 3D con la nanotecnología, se podrán fabricar objetos a escala nanométrica o molecular. En teoría, esto significa que por medio de la fabricación aditiva será posible fabricar cualquier objeto de cualquier material, en cualquier forma o volumen. Pero esta técnica es todavía teórica; aún no se puede predecir el impacto que la nanoimpresión pueda tener en el entorno de trabajo.

Conclusiones

El impacto diario de la impresora en 3D sobre la seguridad y salud en el lugar de trabajo es probablemente limitado. Habrá riesgos, pero no se espera que haya nuevos riesgos relacionados con la seguridad y la salud en el trabajo. Después de todo, es solo una máquina que requiere relativamente poca interacción manual. Además, la mayoría de los materiales usados en la impresión en 3D son conocidos, y también lo son sus efectos en la salud por emisión de gas, exposición a los materiales, manipulación del material y electricidad estática.

El impacto en el bienestar del trabajador puede ser considerable. Plantea nuevos riesgos en términos de precariedad laboral, horarios de trabajo, responsabilidad, monotonía y rutina en el trabajo, estar al día de los nuevos avances a través de la formación y la educación, y, finalmente, riesgos de seguridad derivados de la introducción de maquinaria experimental. Es altamente recomendable que la respuesta a estos cambios en el entorno laboral sea a escala europea más que a nivel nacional, ya que la impresión 3D es una economía global. Esta implicación debería manifestarse a tres niveles:

1. Seguimiento y verificación

¿Qué innovaciones están por llegar? ¿Qué probabilidades hay de que esta innovación se implemente a gran escala? Esta técnica, ¿está patentada o protegida de algún modo? ¿Quién es responsable en caso de mal funcionamiento? ¿Se pueden rastrear los materiales utilizados?

Estas son solo algunas de las preguntas que surgirán. El seguimiento de los cambios en la impresión en 3D requiere un diálogo constante con la industria, lo que podría llevarse a cabo de un modo más fácil y económico estableciendo una plataforma en línea en la que puedan participar tanto trabajadores como empresarios. Para contactar y supervisar individuos como el *prosumidor* (consumidor proactivo) se puede usar la vasta red de FabLabs que hay en Europa.

²³ <http://www.computerworld.com/article/2486998/emerging-technology/bio-printing-human-parts-will-spark-ethical--regulatory-debate.html>

2. Regulación y certificación

Debido a la naturaleza dinámica, ascendente y, a veces, experimental de la impresión en 3D, hay una carencia de regulación. La certificación puede ser un buen instrumento. Por ahora, esta certificación solo la han llevado a cabo empresas de alta tecnología que son muy protectoras de las técnicas de fabricación desarrolladas con grandes inversiones. Su secretismo y patentado no contribuyen a regular la impresión en 3D en general. La regulación de la impresión en 3D en el entorno de trabajo es necesaria por los siguientes motivos:

▪ **Control de calidad y seguridad**

La impresión en 3D está bajo la influencia constante de nuevas técnicas y materiales. Esto representa un riesgo para la seguridad tanto en relación con las impresoras en 3D como con los bienes manufacturados.

▪ **Responsabilidad**

La introducción de nuevas técnicas y materiales puede llevar a conflictos de propiedad intelectual y creativa entre el empresario y el trabajador. Además, siendo los diseños (principalmente) accesibles en línea de modo gratuito, hay nuevos riesgos de infracciones de derechos de autor y de responsabilidad en caso de mal funcionamiento o productos de calidad inferior. Pueden ser necesarios contratos estándar y asesoramiento jurídico.

▪ **Bienestar de los trabajadores**

La economía global y la naturaleza dinámica de las empresas 3D emergentes pueden resultar estresantes para los trabajadores, que tienen que enfrentarse a una mayor demanda en horas de trabajo, flexibilidad y responsabilidad. Dado que la industria de la impresión en 3D consiste principalmente en empresas emergentes y nuevos tipos de microfábricas, la organización de los trabajadores en sindicatos tradicionales es limitada.

▪ **Seguridad y salud**

Las emisiones y el uso de material pueden comportar riesgos en la salud.

▪ **Inseguridad laboral**

En una industria que es altamente innovadora, la precariedad laboral puede ser alta. Esta se puede reducir con oportunidades de formación para mantener a los trabajadores al día.

▪ **Implicación**

Trabajar con maquinaria automatizada como impresoras en 3D puede resultar aburrido y estresante. La formación puede tener una influencia positiva en la motivación laboral. Los trabajadores en impresión en 3D suelen ser relativamente jóvenes. Los empresarios también deberían tomar medidas adicionales para mantenerlos motivados, compartiendo responsabilidades y ofreciendo condiciones de trabajo flexibles.

3. Formación y educación

Además de los desafíos respecto al entorno laboral a nivel individual, la impresión en 3D también ofrece oportunidades increíbles para mejorar la igualdad en el mercado laboral en general. Vivimos en una sociedad del conocimiento basado en el trabajo en red y la tecnología. La división entre la gente que tiene conocimientos tecnológicos y acceso a ellos y los que no está creciendo. Aun así,

con la impresión en 3D y el subyacente movimiento creador el acceso al conocimiento es más barato y relativamente más fácil vía internet. Las redes más importantes en este movimiento creador son los FabLabs. La oferta de educación y formación en colaboración con las FabLabs reducirá la creciente «brecha tecnológica», lo que llevará a un mercado laboral más equitativo. Esto es especialmente relevante en el contexto económico de Europa, en el cual la individualidad, la apertura y la innovación son los objetivos principales.

Lectura adicional

- *Printing Things. Visions and Essentials for 3D Printing.* Dries Verbruggen (editor). ISBN 9783899555165. Gestalten, 2015
- *Open Design Now: Why Design Cannot Remain Exclusive.* Lucas Evers & Bas van Abel (editors). ISBN 9789063692599. BIS Publishers, 2011
- *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World.* Jeremy Rifkin. ISBN 9780230341975. St. Martin's Griffin, 2013
- *Fabricated: The New World of 3D Printing.* Hod Lipson & Melba Kurman. . ISBN 9781118350638. Abe Books, 2013
- *Makers: The New Industrial Revolution.* Chris Anderson. ISBN 9780307720962. Crown Business Publishers, 2012
- *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers.* Mark Hatch. . ISBN 9780071821124. MacGraw-Hill Education, 2013
- *3D Printing: The Next Industrial Revolution.* Christopher Barnatt. . ISBN 9781484181768. Create Space Independent Publishers, 2013
- *Postcapitalism: A Guide to our Future.* Paul Mason. ISBN 9781846147388 Allen Lane Publishers, 2011

Este documento de reflexión está basado en un resumen de un artículo más largo escrito por Jeroen Junte e incorpora datos recibidos de la red de Centros de Referencia de la Agencia.

El artículo se ha elaborado por encargo de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA). Su contenido, incluidas las opiniones y/o conclusiones expresadas, es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente las opiniones de la EU-OSHA.