

La tecnología de la impresión 3D y sus disrupciones en la cadena de suministro

The 3D printing technology and its disruptions in the supply chain

Laura Daniela Cubillos Cuéllar¹

RESUMEN

La tecnología de la impresión 3D está generando fuertes disrupciones en las cadenas globales de suministro. Esta tecnología socava el sentido del transporte de larga distancia, descentraliza los sitios de producción, acerca a la demanda, la personaliza, influye en las necesidades del transporte de última milla, cambia los requisitos establecidos en el servicio de la logística del futuro. Afectando directamente la logística tradicional entre proveedores y minoristas, ya que los procesos se ejecutarán en una sola instalación, y los pedidos llegaran directamente de la fábrica al consumidor. Potencialmente reducirá el almacenamiento, los envíos -la distribución-, y aumentará la personalización masiva de productos; la vieja producción a gran escala y el sector laboral enfrentarán un fuerte impacto por el control en el consumo de materias primas, ausencia de las líneas de montaje y optimización de la gestión de inventarios; fabricar un artículo estará más en las manos de los consumidores, lo que significa que la cadena de suministro se personalizará. La impresión 3D es una tecnología disruptiva que cambiará radicalmente las estructuras de las cadenas globales de suministro tal como hoy las conocemos.

Palabras clave: Impresión 3D, Logística, Disrupciones cadena de suministro, Fabricación aditiva, Manufactura digital.

ABSTRACT

3D printing technology is generating severe disruptions in global supply chains. This technology undermines the sense of long-distance transport, decentralizes production sites, approaches demand, personalizes it, influences the needs of last-mile transport, changes the requirements established in the logistics service of the future. Directly affecting the traditional logistics between suppliers and retailers, since the processes will be executed in a single installation, and the orders will arrive directly from the factory to the consumer. It will potentially reduce storage, shipping-distribution-, and increase mass product customization; the old large-scale production and the labor sector will face a strong impact due to the control in the consumption of raw materials, absence of assembly lines and optimization of inventory management; manufacturing an item will be more in the hands of consumers, which means that the supply chain will be customized. 3D printing is a disruptive technology that will radically change the structures of global supply chains as we know them today.

Keywords: 3D printing, Logistics, Supply chain disruptions, Additive manufacturing, Digital manufacturing.

¹ Ingeniera Industrial. Especialista en Gerencia de Proyectos. Analista de Cadenas de Suministro Internacionales y Logística Industrial – Comercial, lcubill16092@universidadean.edu.co

INTRODUCCIÓN

El término “Impresión 3D” fue utilizado por primera vez en 1996 por ZCorp.; solo a partir de 2006 o 2007, se conoce como un término general para toda la tecnología de fabricación aditiva -construcción de objetos o artículos a través de la impresión de materiales capa por capa, basado en un archivo de modelo digital 3D, empleando mucho menos materia prima que la tecnología de fabricación convencional-. La impresión 3D es un modo de creación rápida de prototipos sin la fabricación de moldes. Las aplicaciones de la tecnología de la impresión 3D son ampliamente aceptadas y se están incorporado en las operaciones logísticas de las industrias y organizaciones. Como consecuencia, se debe ver la tecnología de la impresión 3D con el potencial de conducir -tendencia- a una transformación masivamente disruptiva de las cadenas globales de suministro.

Se espera que los costos de inversión, típicos para una empresa que adquiriera una impresora 3D, caerán de US\$70.000 a US\$ 2.000 en los próximos años, reduciendo así barreras de entrada al mercado para nuevos “Fabricantes 3D” (Sasson, A. and Johnson, J.C., 2016). La impresión 3D permite un alto grado de personalización, generando competitividad con los costos tradicionales fabricación en masa, incluso con volúmenes de producción, hasta un 98% más bajo.

La tecnología de la impresión 3D eliminará intermediarios y niveles en la cadena de suministro, haciendo retroceder las ventajas competitivas de producción en masa con sus requisitos de estandarización y mercados globales; respondiendo de manera más flexible al consumidor, creando nuevas reglas de competencia y relocalización de fábricas, conduciendo a la reducción del volumen de carga global. Esto significa que probablemente incluso antes de 2025 las cadenas de suministro incluido de la industria manufacturera, podrían convertirse en regionales o locales en lugar de globales (Beltagui, A., Kunz, N., & Gold, S. 2019). Esta tecnología afectará de manera directa el lugar donde se realiza la fábrica de productos,

ya que la industria manufacturera basada en la impresión 3D delegaría, todas o al menos algunas piezas grandes de fabricación, a los clientes, para tal, se emplearían instalaciones de impresión en 3D locales, estilo tienda de esquina. Ambos escenarios, sin embargo, tendría un gran impacto en las operaciones logísticas y en las prácticas de los minoristas actuales.

Como los artículos podrán producirse a partir de materias primas estandarizadas ampliamente disponibles, la cadena de suministro y la logística aguas abajo cambiaría considerablemente. El minorista podría desaparecer en gran medida (CILT, 2016), lo que significa menos inventarios. No habría necesidad de abastecerse de artículos individuales que ofrecen los “minoristas”. El mercado, posiblemente, se reducirá masivamente, y los “Fabricantes 3D” serían igualmente capaces de impulsar al mercado actualizaciones de productos con efecto casi inmediato; por tanto, el tiempo se convertiría en el factor más importante de la competencia.

Tecnología de la Impresión 3D

Desde la Revolución Industrial, la producción de bienes ha sido sinónimo de fábricas, máquinas, herramientas, líneas de producción y economías de escala. Por tanto, es novedoso pensar en producción sin herramientas, sin líneas de montaje o sin cadenas de suministro. Sin embargo, eso es lo que emerge como el futuro de los servicios de la tecnología de la impresión 3D (Rogers, H., Baricz, N. and Pawar, K., 2016). La impresión 3D ha revolucionado la industria de la fabricación, ya que ofrece beneficios tales como flexibilidad de diseño, piezas livianas y más fuertes, reducción en el costo y en el tiempo de producción, y en el desperdicio de material. Como resultado, muchas compañías en innumerables industrias han agregado la tecnología de la impresión 3D a sus propias cadenas de suministro.

Hoy se pueden hacer partes, electrodomésticos y herramientas en una amplia variedad de materiales directamente desde el hogar o desde el lugar de trabajo. Usando una computadora, simplemente se crea, modifica o se

descarga un modelo digital 3D de un objeto. La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva es una tecnología aditiva utilizada para hacer objetos sólidos en capas tridimensionales desde un archivo digital sin la necesidad de un molde o herramienta de corte. La impresión 3D utiliza un diseño asistido por computadora para crear un objeto tridimensional. El diseño se divide en varios planos dimensionales, que le indican a la impresora 3D dónde depositar las capas de material. Es un proceso aditivo, ya que se depositan sucesivas capas delgadas de material entre sí, generando al final un producto tridimensional.

Las impresoras 3D se utilizan para crear de manera económica diseños personalizados y mejorados (Kianiana B, Tavassolib S, Larssona, T. C., 2015), así como para el diseño de piezas, que antes no se podían fabricar con tal precisión y calidad. Una sola impresora 3D puede producir una extensa gama de productos, a veces ya ensamblados, para tal, se requiere de una amplia variedad de materiales: plásticos, vidrio, metales, polímeros, ceras, mezclas de arena y pegamento, nylon, cerámica, material comestible e incluso tejido humano.

La tecnología de la impresión 3D presenta las siguientes ventajas básicas: menores costos de instalación y menores costos en herramientas; costos de producción más bajos; menor tiempo y menores costos de desarrollo (aumenta el ritmo del diseño del producto); eco amigable: menor influencia en CO₂; (Ford, S., & Despeisse, M., 2016). precios accesibles al comprador, ya que genera costos de producción bajos para pequeños volúmenes y piezas complejas; menor tiempo de entrega; productos complejos relativamente fáciles de imprimir; flexibilidad (impresión bajo demanda, personalización). Generar productos en estricta conformidad con la demanda reduce en gran medida el nivel de inventario de materiales y productos.

La tecnología de impresión 3D solamente consume materiales de impresión, lo que determina que la impresión no producirá desperdicio de material en exceso, tanto la producción de un solo producto simple como la

generación de productos complejos y diversos. Para la tecnología de impresión 3D, no importa cuán complejo o simple sea, solo hay preguntas sobre cómo hacerlo, tiempo y diferentes tipos de materias primas, lo que no aumentará el costo adicional, por tanto, la industria de la impresión 3D puede controlar con mayor precisión el consumo de material y la gestión de inventario, de igual forma, el almacenamiento y la distribución de materias primas son más planificados y tienen un propósito claro.

Contrario a las ventajas anteriormente expuestas, la tecnología de la impresión 3D conlleva las siguientes desventajas: baja velocidad de producción; mayores costos de inversión; responsabilidades poco claras con respecto a la propiedad intelectual, garantías, certificación; variabilidad/calidad del proceso; no es eficiente para series grandes; elección limitada de material (a veces); dimensiones limitadas del producto; complejidad de la cadena de suministro (la impresión 3D se agrega a la cadena de suministro). Se debilitarán las funciones logística y almacenaje en la industria convencional. Al mismo tiempo se simplificarán las operaciones logísticas de carga y descarga, embalaje y manipulación, y se tendrá una mejora significativa de la eficiencia.

Adicional a lo señalado, los proveedores de servicios de logística solo podrán almacenar e imprimir los modelos de datos si los fabricantes confían en ellos y si comercialmente están preparados para darles los modelos de datos 3D; esto hará, a futuro, que el “valor” de un producto residirá en un archivo digital (Mohr S, Khan O., 2015). Por tanto, los fabricantes intentarán proteger su propiedad intelectual insertando protecciones de copia, estableciendo derechos de licencia, etc.

Las limitaciones que presenta la tecnología de la impresión 3D se relacionan directamente con la durabilidad y las características de los materiales de los componentes impresos, el tiempo de impresión y el precio de las materias primas, así como la disponibilidad comercial de los equipos de impresión. La impresión 3D aún no es propicia para la producción en masa debido a que su costo es típicamente más alto (por unidad),

y menor es el tiempo de producción (por unidad). Si la nueva tecnología pretende transformar por completo industria global, la impresión 3D debe ser capaz de generar productos en masa en los mismos volúmenes que lo ha venido haciendo las técnicas de fabricación tradicionales.

En el futuro, muchos documentos de diseño de productos básicos de consumo se podrán descargar de Internet a la impresora 3D para su impresión. Por lo tanto, estos productos ya no necesitarán de la logística de la distribución física, las organizaciones y/o el consumidor final solo necesitará de imprimir las piezas y ensamblar automáticamente el producto. Esta tecnología obviamente traerá reducción de distancias y tiempos, y beneficios económicos para las empresas manufactureras, y al usuario final. El impacto de la tecnología de la impresión 3D en la configuración global de las cadenas de suministro puede ser muy perjudicial. La tecnología de la impresión 3D tiene el potencial de eliminar la necesidad de producción de alto volumen, instalaciones y trabajadores de ensamblaje de bajo nivel (Yeh, C.-C., & Chen, Y.-F., 2018). reduciendo drásticamente el costo de la cadena de suministro.

En términos de disrupción, en el inventario se puede imprimir bajo demanda. Lo que significa que nunca más tiene que tener el producto terminado apilado en estantes o en almacenes. Cuando necesitamos un producto, simplemente lo hacemos. Esas eficiencias se ubican en toda la cadena de suministro, desde el costo de distribución hasta el costo de ensamblaje y de transporte, hasta el final del componente en sí, todo mientras reduce los desperdicios, maximiza la personalización y mejora los tiempos del ciclo de montaje.

3D y sus Disrupciones en la Cadena de Suministro

El modelo tradicional de la cadena de suministro se basa en las limitaciones tradicionales de la industria, eficiencias de producción en masa, necesidad de trabajadores para ensamblaje de bajo costo y alto volumen, y justo a tiempo; los

productos manufacturados son distribuidos a los clientes a través de redes de almacenes (Barz, A., Buer, T. and Haasis, H.D., 2016), con plazos de ejecución largos, altos costos de transporte, y una gran huella de carbono. La impresión 3D evita esas restricciones

La impresión 3D encuentra su valor en la impresión de bajo volumen, artículos específicos para cada cliente, artículos con una complejidad mucho mayor de lo que es posible por los medios tradicionales. El cliente cambia de “audiencia pasiva” a un “jugador activo” co-creando el producto e incluso todos los servicios que necesita. Y eso colapsará la cadena de suministro en sus eslabones más simples, agregando nuevas eficiencias al sistema. Esto a la vez elimina la necesidad de instalaciones de producción de grandes volúmenes y con trabajadores de ensamblaje de bajo nivel, reduciendo así al menos la mitad de la cadena de suministro de un solo golpe.

La impresión 3D elimina la necesidad de grandes inventarios a granel, de igual forma, elimina la necesidad de instalaciones de producción de alto volumen, simplifica las etapas de producción, reduce costos de transporte (Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C. and Hague, R., 2016), evita penalizaciones por rediseño, reduce el tamaño económico de un lote, mejora el manejo del reciclaje y de los residuos, y cambia las ventas de los minoristas de salidas convencionales a canales en línea.

La impresión 3D genera soluciones de embalaje más económicas y efectivas, permite la verificación de diseños, oferta diseños personalizados a menor costo (producción personalizada), evita los centros de mecanizado y las herramientas para tal fin (Holt, C., Edwards, L., Keyte, L., Moghaddam, F., & Townsend, B., 2019), genera personalización económica masiva, aumenta la velocidad de respuesta, elimina el desfase entre el diseño y el producto, mejora la calidad del producto, reduce el desperdicio en la producción del mismo, incorpora comentarios y sugerencias de los clientes, elimina el exceso de partes que causan lastre y agregan peso, reduce la incertidumbre de la demanda, reduce

el impacto medioambiental de los desechos que se acumulan en la producción tradicional o convencional, ya que 95% del material de desecho puede reutilizarse en la producción 3D.

La tecnología de la impresión 3D particularmente rentable para lotes de producción muy pequeños (Wu, P.; Wang, J.; Wang, X., 2016), lo que permite a las empresas servir de manera rentable a nichos de mercado y cumplir con las solicitudes de los clientes altamente personalizadas, conduciendo a tiempos de entrega más cortos, eliminando así la retención de inventario, su obsolescencia y su escasez, ya que al promover la fabricación a pedido, la demanda es “halonada” directamente por el cliente final, el plazo de ejecución es corto, mejorando la flexibilidad del proceso, eliminando los intermediarios de la cadena de suministro.

Con la impresión 3D, la fabricación será más ágil y más capaz de reaccionar ante las constantes demandas del cliente (Michael J. Ryan, Daniel R. Eyers, Andrew T. Potter, Laura Purvis, Jonathan Gosling, 2017). Esto significa que habrá menos productos en proceso, menos productos terminados en transporte y en stock, y por tanto, menor obsolescencia del stock existente. Aunque el costo por unidad puede ser mayor, con un almacenamiento reducido y un producto menos obsoleto, los costos generales del sistema en la cadena de suministro con la tecnología de la impresión 3D pueden ser más bajos que los de las cadenas de suministro tradicionales.

La impresión 3D permitirá diferenciar un único producto en tránsito en la cadena de suministro (Durach, C.F., Kurpjuweit, S. and Wagner, S.M., 2017). Lo que generará un aumento dramático en la transmisión información, y la materia prima, a menudo versátil y útil para varios productos, se convertirá en el inventario. Este proceso es ideal para lotes pequeños y demanda incierta. Las oportunidades para la impresión 3D no se aprovechan por completo mediante la reducción de costos de fabricación, la impresión 3D ofrece oportunidades para nuevas estrategias de marketing y canales de distribución. En lugar de fabricantes que generan productos basados en

las demandas previstas, la impresión 3D permite la fabricación basada en demanda en tiempo real.

Esto se traduce en plazos de entrega más cortos desde el pedido hasta la entrega -lead time-. La cadena de suministro será mucho más flexible para acomodar los aumentos repentinos en la demanda de productos (Bogers, M., Hadar, R. and Bilberg, A., 2016). Las redes globales de instalaciones de impresión 3D brindarán a las empresas la capacidad de responder rápidamente a los cambios en la demanda del mercado e introducir nuevos productos rápidamente y a bajo costo. Procesos de diseño más versátiles podrían desencadenar una nueva ola de productos e innovación (Derossi, A., Caporizzi, R., Ricci, I., & Severini, C., 2019). A largo plazo, esta tecnología tiene el potencial de redefinir los métodos tradicionales de fabricación.

El concepto de hacer productos en plantas grandes y complejas podría quedar obsoleto a medida que las empresas adoptan el modelo de fabricación con tecnología de la impresión 3D. La logística global se vería afectada con la reducción en los volúmenes de envío de carga aérea, con la personalización de los productos los niveles de inventario, a medida que se ordenan, caerán vertiginosamente, esto tendría el impacto de reducir dramáticamente las necesidades de almacenamiento.

La logística aguas abajo también se vería afectada. Estrategias de producción a medida podrían afectar fundamentalmente la relación fabricante-mayorista-minorista. A futuro, la experiencia de compra también podría ser muy diferente. En algunos sectores, los minoristas dejarán de existir o se convertirán en “escaparates” para los fabricantes, sin tener existencias propias. Los pedidos son gestionados por el fabricante, y entregados en el lugar exacto que indique el consumidor.

Surgiría un nuevo sector importante de la logística, el que se ocuparía del almacenamiento y movimiento de las materias primas que “alimentan” o abastecen las impresoras 3D (Feldmann, C., & Pompe, A., 2017). Como las impresoras 3D llegarán a ser más asequibles

al público en general, el mercado de entrega a domicilio de las materias primas aumentará.

Desde este punto de vista, ya no es financieramente eficiente enviar productos a todo el mundo cuando su fabricación se puede hacer casi en cualquier lugar al mismo costo o menor. Las materias primas de hoy son archivos digitales y las máquinas que los fabrican los productos están cableadas y conectadas, más rápido y más eficiente que nunca.

Lo arriba señalado, exige un nuevo modelo de cadena de suministro. Con soporte de abastecimiento local, la tecnología de impresión 3D tiene el potencial de reestablecer las estructuras separadas de la cadena de suministro global y re-ensamblarlas como un nuevo sistema local. Además, la tecnología de impresión 3D crea una estrecha relación entre diseño y fabricación y marketing.

La tecnología 3D tiene la capacidad transformar una cadena de suministro conectada a una cadena de suministro global, sin dejar de ser una cadena de suministro totalmente local.

El impacto en la impresión 3D en la configuración global de las cadenas de suministro puede ser muy disruptivo (Mckinnon, A., 2016), con el potencial para respaldar la reorganización y el abastecimiento local. La impresión 3D podría iniciar una reducción en la demanda de transporte y en la distribución global, apoyada por una sustitución del flujo físico de transferencias de archivos digitales.

CONCLUSIONES

El objetivo de una cadena de suministro es maximizar el valor global generado, es decir, la diferencia entre el valor del producto final para el cliente y los costos de las operaciones logísticas de la cadena de suministro para cumplir con el pedido del cliente.

En la cadena de suministro tradicional el modelo de negocio ya no es válido, ya que se

basó en la maximización de la eficiencia a través de la producción de grandes volúmenes y la explotación de la capacidad. En el mundo actual, estos modelos, basados en las economías de escala, no son capaces de hacer frente a la tasa de volatilidad, cambio, variedad y personalización que se requiere.

La tecnología de impresión 3D con la amplitud de sus aplicaciones, es innovadora y disruptiva, ya que está re-modelando la cadena de suministro en todas las industrias, al reducir los costos operativos, el excesivo inventario de existencias a lo largo de una cadena de suministro debido a la demanda incierta, conocida como el "Efecto látigo", al mejorar la capacidad de personalización masiva –permitirá una diferenciación más fácil del producto que el suministro tradicional- y al proporcionar una respuesta más rápida a la demanda, la reducción drástica de proveedores debido a la flexibilidad que la 3D puede ofrecer, y ayuda a acortar el tiempo de comercialización, al obtener prototipos rápidos.

La producción 3D puede realizarse con mínima mano de obra involucrada, el costo laboral será un problema menor en vista del costo total del producto. La disminución en el número de piezas, así como la menor cantidad de pasos de ensamblaje resultan en una reducción significativa de los costos de producción en comparación con los métodos de fabricación convencionales.

La integración de un ensamblaje en una sola pieza también puede resultar en menos subcontratistas en la cadena de suministro y, por tanto, en la reducción de costos de coordinación. A diferencia de los métodos de producción convencionales, no existe una relación directa entre la complejidad del producto y el costo de producción.

La re-ubicación de la producción sería así menos sensible y podría haber una reorganización de las instalaciones de producción a nivel global, pudiéndose crear un nuevo paradigma de distribución de la fabricación. Algunos procesos de producción (por ejemplo, un módulo puede

imprimirse en un proceso 3D en lugar de ensamblar varios componentes que pueden requerir diferentes cadenas de suministro).

La producción 3D es una técnica de fabricación descentralizada que alterará la red global de distribución. En este sentido, se reducirá el nivel de complejidad y los gastos generales requeridos de un producto o una cadena de suministro, y en consecuencia, la operación de la cadena de suministro es más eficiente. Esta eficiencia también puede ser complementada con una mayor calidad de las piezas o módulos simplificados que el proceso 3D puede lograr en comparación con las operaciones tradicionales intensivas en mano de obra.

La impresión 3D abre nuevas oportunidades y está emergiendo lentamente como una forma valiosa de mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, como resultado, la cadena de suministro puede reaccionar rápidamente a los cambios en el mercado, ya que ofrece nuevas oportunidades y posibilidades para las empresas que buscan mejorar eficiencia de la producción.

Desde la perspectiva de la logística global y de las cadenas globales de suministro, el uso de tecnología 3D reducirá en gran medida el consumo de materias primas durante el proceso de fabricación, en consecuencia el volumen global de carga disminuirá y la red logística mundial se enfrentará a una contracción estratégica.

La impresión 3D es una tecnología disruptiva que cambiará, a futuro, radicalmente las estructuras de las cadenas globales de suministro tal como hoy las conocemos.

REFERENCIAS

- Barz, A., Buer, T. and Haasis, H.D. (2016), "A study on the effects of additive manufacturing on the structure of supply networks", IFAC-PapersOnLine, Vol. 49 No. 2, pp. 72-77.
- Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C. and Hague, R. (2016), "The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 102, pp. 193-201
- Beltagui, A., Kunz, N., & Gold, S. (2019). The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation. *International Journal of Production Economics*; doi: 10.1016/j.ijpe.2019.07.035
- Bogers, M., Hadar, R. and Bilberg, A. (2016), Additive manufacturing for consumer-centric business models: implications for supply chains in consumer goods manufacturing', *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 102, pp.225–239, Elsevier Inc.
- CILT (2016), "Vision 2035: a report on the future of logistics and transport in the UK", Chartered Institute of Logistics and Transport (UK).
- Derossi, A., Caporizzi, R., Ricci, I., & Severini, C. (2019). Critical Variables in 3D Food Printing. *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*, 41–91.
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A.,... Rowley, J. (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75–84.
- Durach, C.F., Kurpjuweit, S. and Wagner, S.M. (2017) 'The impact of additive manufacturing on supply chains', *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 47, No. 10, pp.954–971
- Feldmann, C., & Pumpe, A. (2017). A holistic decision framework for 3D printing investments in global supply chains.

- Transportation Research Procedia, 25, 677–694.
- Ford, S., & Despeisse, M. (2016). Additive manufacturing and sustainability: An exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137, 1573–1587
- Holt, C., Edwards, L., Keyte, L., Moghaddam, F., & Townsend, B. (2019). Construction 3D Printing. *3D Concrete Printing Technology*, 349–370.
- Kianiana B, Tavassolib S, Larssona, T. C. (2015). The Role of Additive Manufacturing Technology in job creation: an exploratory case study of suppliers of Additive Manufacturing in Sweden. *Procedia CIRP*; 26:93–8.
- Mckinnon, A. (2016). The possible impact of 3D printing and drones on last-mile logistics: An exploratory study. *Built Environment*, 42(4), 617–629.
- Michael J. Ryan, Daniel R. Eysers, Andrew T. Potter, Laura Purvis, Jonathan Gosling, (2017) "3D printing the future: scenarios for supply chains reviewed", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 47 Issue: 10, pp.992-1014
- Mohr S, Khan O. (2015). 3D Printing and Supply Chains of the Future. In: Kersten W, Blecker T, Ringle CM, editors. *Innovations and strategies for logistics and supply chains: Technologies, Business Models and Risk Management*, Berlin: epubli GmbH; pp.:146–174.
- Rogers, H., Baricz, N. and Pawar, K. (2016), "3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 46 No. 10, pp. 886-907.
- Sasson, A. and Johnson, J.C. (2016), "The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 46 No. 1, pp. 82-94.
- Wu, P.; Wang, J.; Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3D printing in the construction industry. *Autom. Constr.*, 68, 21–31.
- Yeh, C.-C., & Chen, Y.-F. (2018). Critical success factors for adoption of 3D printing. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 209–216.