



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de empresas

La impresión 3D como nuevo modelo de producción

Presentado por:

Dumitrita Axenia Bordianu Bolganschi

Tutelado por:

Héctor Pérez Fernández

Valladolid, 13 de julio de 2023

RESUMEN :

La impresión 3D cuenta con más de 40 años de vida, que han servido para demostrar que es un modelo de producción aplicable a cualquier tipo de empresa. Para imprimir en 3D se puede optar por diferentes tecnologías como SLS o FDM, entre otras. La impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva, se presenta como la mejor alternativa al modelo de producción tradicional debido a las innumerables ventajas competitivas que presenta. Muchos sectores ya han optado por introducir la impresión 3D en sus fábricas, como la industria aeroespacial. La impresión 3D se presenta como la nueva oportunidad del S.XXI, ofreciendo ahorros potenciales a las empresas que lo implementan en su producción o siendo la base de nuevos modelos de negocio. Como la teoría no es suficiente para poder convencer a las compañías de apostar por una nueva tecnología, todo ello se ilustra mediante el caso de la empresa Mattel y los beneficios obtenidos gracias a comenzar, de manera temprana, a utilizar la tecnología 3D.

Palabras clave: Fabricación aditiva, impresión 3D, innovación, modelo de negocio.

ABSTRACT:

3D printing has been around for more than 40 years, which has served to demonstrate that it is a production model applicable to any type of firm. To print in 3D, different technologies such as SLS or FDM, among others, can be used. 3D printing, also known as additive manufacturing, is presented as the best alternative to the traditional production model due to the countless competitive advantages it offers. Many sectors have already opted to introduce 3D printing in their factories, such as the aerospace industry. 3D printing is presented as the new opportunity of the 21st century, offering potential savings to companies that implement it in their production or being the basis for new business models. As theory is not enough to convince companies to commit to a new technology, this is illustrated by the case of the company Mattel and the benefits obtained by starting early to use 3D technology.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, innovation, business model.

ÍNDICE

RESUMEN :	1
1. INTRODUCCIÓN	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS CLAVE	5
2.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA IMPRESIÓN 3D.....	7
2.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA IMPRESIÓN 3D	9
2.4. TIPOS DE IMPRESORAS 3D Y TECNOLOGÍAS ASOCIADAS.....	11
3. IMPACTOS DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA GESTIÓN EMPRESARIAL	12
3.1. CAMBIOS EN EL MODELO DE PRODUCCIÓN TRADICIONAL.....	12
3.2. VENTAJAS COMPETITIVAS Y DESAFÍOS DE LA IMPRESIÓN 3D	14
3.3. CASOS DE ÉXITO EMPRESARIAL EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN SECTORES TRADICIONALES	17
3.4. NUEVOS SECTORES Y MODELOS DE NEGOCIO BASADOS EN LA IMPRESIÓN 3D	20
4. IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS	21
4.1. ANÁLISIS DE COSTES Y AHORROS POTENCIALES.....	21
4.2. EJEMPLO DE ROI O RETORNO DE INVERSIÓN	25
5. CASO DE ESTUDIO DE ÉXITO AL IMPLEMENTAR LA IMPRESIÓN 3D	27
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA SELECCIONADA.....	27
5.2. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.....	28
5.3. RESULTADOS Y BENEFICIOS OBTENIDOS	30
6.CONCLUSIONES	32
6.1 PROBLEMAS INHERENTES A LA IMPRESIÓN 3D.....	33
6.2. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	34
6.3. LIMITACIONES DEL TRABAJO	35
6.4 APLICACIONES PRÁCTICAS.....	35
7.BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 2.1. Creality CR-5 PRO H	6
Figura 2.2 Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems. Fuente: Sculpteo.....	8
Tabla 3.1. Fuente: elaboración propia	13
Figura 4.1. Conector para vehículos eléctricos Fuente : Formlabs	26
Tabla 4.2. Fuente: Formlabs.....	26
Figura 5.1. Prototipo de la impresora 3D para niños Thingmaker. Fuente: Hackday	29

1. INTRODUCCIÓN

Jeff Bezos afirma que, si solo decidimos hacer las cosas que sabemos que van a funcionar, dejaremos un montón de oportunidades encima de la mesa. El siguiente trabajo trata sobre la impresión 3D como nuevo modelo de producción. Y, siguiendo con la frase del fundador de Amazon, se intentará demostrar que la fabricación aditiva, es el método perfecto para intentar y perseguir cualquier oportunidad y seguir innovando a la hora de cambiar las empresas existentes o crear nuevas.

Actualmente, nos encontramos en la 4ª Revolución Industrial, caracterizada por una economía que se aplica a un mundo complejo, incluso caótico. Los problemas técnicos, y sobre todo los competidores, hacen que día a día todas las empresas deban buscar nuevas ventajas competitivas para no quedarse atrás. En este contexto, la impresión 3D se presenta como la vía perfecta para lograr dicho objetivo, ya que es la solución a los problemas técnicos actuales y la herramienta necesaria para poder batir a la competencia.

Con este estudio, se pretende mostrar a las empresas que la impresión 3D es la oportunidad perfecta para poder destacar, ahorrar y ser mucho más eficiente. Para ello, se ha realizado un estudio teórico de la impresión 3D, tipos de impresoras y materiales compatibles con dicho modelo de producción. Además, de un análisis económico exponiendo los costes y ahorros que se pueden conseguir gracias a su implementación. Todo ello finaliza con un ejemplo de una empresa muy interesante que muestra de manera explícita los beneficios que acarrearán implantar, aunque sea en parte, la impresión 3D para producir.

Como conclusión, a pesar de que la impresión 3D se haya ido popularizando, hoy en día muchas personas lo siguen viendo como un modelo inaccesible, debido a la gran desinformación que hay sobre la materia. Con este trabajo, se intenta mostrar que esta tecnología es accesible para todos y que, su objetivo es mejorar la manera tradicional de producir abaratando los costes y siendo más benevolente con el medio ambiente. De esta manera, se finalizará con líneas futuras de investigación, limitaciones del trabajo y aplicaciones prácticas.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Definición y conceptos clave

La impresión 3D, o fabricación aditiva, es una tecnología revolucionaria que ha transformado la producción y la fabricación en diversos sectores. La tecnología consiste en crear objetos tridimensionales a partir de datos digitales superponiendo capas sucesivas de material hasta conseguir la forma final del objeto. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales, que suelen ser sustractivos, eliminando material para obtener la forma deseada, la impresión 3D adopta un enfoque aditivo (Casey, 2009), construyendo el objeto capa a capa. Es el proceso de fabricar un objeto sólido tridimensional de casi cualquier forma a partir de un modelo digital computarizado. (También llamada fabricación por adición). (Fonda, 2014)

La impresión 3D presenta innumerables consecuencias significativas en el futuro de la fabricación. Mediante dicho proceso se permite la personalización masiva, reducción de residuos y la producción bajo demanda. También ofrece la posibilidad de fabricar objetos complejos, que de otra manera o utilizando el método tradicional, sería muy difícil o incluso imposible de producir.

Al contrario de los métodos tradicionales, que se basan en la fabricación sustractiva, la impresión 3D es método de producción aditivo. Los productos se van construyendo capa por capa. Se podría decir que las impresoras 3D funcionan como las impresoras de tinta tradicionales, sin embargo, en vez de utilizar las tintas multicolores, la impresora 3D utiliza polvo que, capa por capa, va creando un objeto. No se debe olvidar que para producir en 3D se necesita un software CAD 3D, cuya función es dar la orden de cómo construir el objeto deseado. Más tarde se desarrollará el concepto CAD.

En cuanto al funcionamiento, la impresora 3D va expulsando las capas del material utilizado y a su vez, un láser ultravioleta (controlado por el ordenador) va endureciendo el material. Al finalizar la impresión, que puede llegar a durar incluso solo 1 hora para materiales de pequeñas dimensiones, el exceso se puede limpiar mediante un baño químico.

La definición de impresión 3D es algo inexacta. Mientras que algunos expertos en la materia restringirían la impresión 3D a unidades con cabezales de impresión basados en inyección de tinta que crean un objeto capa a capa, otros aplicarían este término a versiones de oficina o de consumo de máquinas de prototipado rápido que son relativamente baratas y fáciles de usar (Casey, 2009). La palabra "rápido" se refiere a la facilidad de hacer una copia de un objeto debido a la sencillez de escribir un programa informático que controle la forma del objeto. El término "prototipado" se refiere a este proceso como demasiado lento para su uso en la producción en masa (en contraste con las tecnologías de moldeo por inyección que producen grandes cantidades a bajo coste por unidad).

A continuación, se adjunta la imagen de una impresora 3D industrial/profesional cuyo precio se encuentra alrededor de los 1200€. Según Servitec3D, empresa de venta de impresoras 3D y accesorios, la Creality **CR-5 PRO H** es una impresora profesional con un volumen de impresión 300 x 225 x 380mm. Cerrada en un marco totalmente metálico y ventanas de metacrilato. Con placa de vidrio de carborundo como base de construcción y electrónica ATmega2560.



Figura 2.1 Creality CR-5 PRO H. Fuente: Servitec3D

2.2. Antecedentes históricos de la impresión 3D

Al contrario de lo que muchos podrían pensar, los orígenes de la impresión 3D se encuentran en el siglo XIX de la mano de François Willième y Joseph E. Blather. Ambos aportan las primeras ideas relacionadas con la creación automática de objetos en 3D.

El primero, un escultor francés, creó en 1959 el primer intento de escáner 3D utilizando 24 cámaras colocadas en diferentes ángulos para captar la imagen instantánea. El segundo, consiguió patentar, en 1982, una técnica de estratificación similar a la utilizada hoy en día por las impresoras 3D. Sin embargo, la impresión 3D como hoy la conocemos, tardó en desarrollarse casi un siglo.

A partir de los años 80, comienza un rápido y próspero desarrollo de la impresión 3D. El contexto no era del todo favorable ya que, en esta época, ni siquiera había llegado la revolución de la fotografía digital. En 1981 Hideo Kodama, del instituto de Investigación de Nagoya, dirigía un proyecto cuyo objetivo era crear piezas sólidas mediante el endurecimiento de una tina de fotopolímero con luz UV. Decidió a su vez patentarlo, pero desafortunadamente, el proyecto nunca llegó a materializarse. Lo mismo le ocurrió al francés Alain Méhauté, empleado de Alcatel en Francia. Él buscaba maneras más eficientes, sencillas y rápidas de producir piezas. Compartió dicho problema con su compañero de trabajo, Olivier de Witte. Ambos se dieron cuenta de que ciertos líquidos podían curarse con láser. Plantearon su idea al CNRS¹ pero esta no salió adelante debido a la falta de aplicaciones suficientes.

La impresión 3D comienza a ver la luz a partir de 1984 ya que se empiezan a crear las primeras patentes y empresas. Es en esta época cuando de manera oficial, se presentan las tecnologías de impresión 3D: SLA, SLS, FDM. La tecnología de impresión SLA fue inventada por Chuck Hill en 1984. Basada en

¹ CNRS: Son las siglas del Centre National de la Recherche Scientifique, en castellano, Centro Nacional Francés de Investigación Científica.

la sinterización por capas usando para ello un láser. Dos años más tarde, el invento se patenta por su creador, que a su vez decide fundar 3D Systems. Esta empresa ofrece la primera impresora 3D SLA comercial, el modelo SLA-1.



Figura 2.2. Prototipo de la impresora SLA-1 de 3D Systems. Fuente: Sculpteo

En 1987 aparece la tecnología SLS, de la mano de Carl Deckard, investigador de la Universidad de Texas. Este sistema, sinteriza polvo de resina para convertirlo en un sólido. Sin embargo, la comercialización de impresoras SLS tendrá que esperar hasta 2006.

Por último, aparece la tecnología FDM. Es la más conocida y la que más porcentaje representa en el mercado. El proceso de fabricación se basa en la deposición de filamento fundido. Esta tecnología es patentada en 1988 por S. Scott Crump y Lisa Crump. Ambos fundan un año más tarde Stratasys, una de las compañías más importantes del sector a nivel de impresoras 3D profesionales hoy en día.

Comenzando la década de los 90, aparecen diversas compañías que más tarde serán esenciales para el desarrollo de la impresión 3D en diversos ámbitos. Podemos citar a Z-Corporation, ARCAM u Object Geometries.

En 1999 la medicina presencia un avance significativo gracias a la impresión 3D. El instituto de Wake Forest de medicina Regenerativa trasplanta una vejiga

urinaria desarrollada mediante impresión 3D a un paciente utilizando un recubrimiento sintético fabricado con sus propias células. 3 años más tarde, este mismo instituto diseña un riñón en miniatura completamente funcional. De esta manera, aparece la Medicina Regenerativa.

Con la entrada del nuevo milenio, la impresión 3D se abre a nuevos sectores como la automoción, construcción o joyería. Sin embargo, esta sigue siendo bastante cara. En 2005, se produce una gran revolución dentro del mundo de la impresión 3D, Adrian Bowyer, profesor titular de ingeniería mecánica en la universidad de Bath, funda el proyecto RepRap, cuyo objetivo es crear una impresora 3D que pueda imprimir sus propias piezas para fabricar otras. Este acontecimiento allanó el camino para la llegada de las impresoras 3D a los hogares y la popularización de dicha tecnología. Será en 2008 cuando esta impresora autoreplicante, llamada Darwin, salga a la luz.

En 2007, la universidad de Cronwell en colaboración con la French Culinary Institute de Manhattan, consiguen imprimir galletas y purés en la forma deseada mediante una impresora 3D. Hoy en día, la industria alimentaria lo utiliza para hacer pastas personalizadas o incluso bombones.

En 2008 se fabrica la primera pierna de prótesis gracias a la tecnología de impresión 3D. En este mismo año, nos encontramos con el primer avión fabricado mediante la impresión 3D, llamado Thor. Tardó 7 días en fabricarse, pesa 21kg y mide 4 metros. Un prototipo de coche también fue lanzado en este mismo año, más eficiente con el medioambiente.

Siguiendo con el desarrollo de la impresión 3D en los hogares, en 2009, Marketbot saca a la venta los primeros kits que permiten fabricar directamente la impresora 3D en casa.

La impresión 3D ha ayudado mucho al avance de la medicina, a lo largo de los años, se llegó a crear en 2019 un corazón diminuto y en 2021 una prótesis ocular.

Actualmente, ya existen las primeras casas fabricadas mediante la impresión 3D.

2.3. Principios de funcionamiento de la impresión 3d

La primera parte del proceso de impresión 3D es el modelado. En esta etapa es necesaria el diseño asistido por ordenador o CAD² para crear los archivos que van a dirigir la impresora 3D con el fin de producir el objeto deseado. Dichos archivos se suelen convertir a STL³ u OBJ para que la impresora los pueda leer. Este proceso ofrece gran precisión y gracias a que sea tan sofisticado, se pueden producir objetos complejos y con alto porcentaje de fidelidad al diseño creado digitalmente.

La segunda parte del proceso sería el corte. Es una de las etapas fundamentales en la fabricación por impresión 3D. Aquí el modelo 3D va a dividirse en miles de capas finas horizontales, que serán las que próximamente formen el objeto. Esta etapa es tan importante ya que además de determinar el orden de impresión de las capas, se determina también la velocidad de impresión, cantidad de material necesario por capa, entre otras. El software, al leer el archivo 3D, lo va a transformar a un formato G-CODE. El código G o RS-274 es el lenguaje de programación más utilizado habitualmente en control numérico. En este caso, dirige la impresora 3D y en cada parte del proceso de fabricación le indica qué debe realizar (movimientos, cantidades de material, etc.)

Después de la parte informática, toca elegir el material. Esta decisión es muy importante y depende del producto que se quiera fabricar. Es muy común utilizar plásticos como el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) o el PLA (Ácido Poliláctico). Gracias al desarrollo de dicha tecnología, también se utilizan cerámicas, resinas e incluso metal. Actualmente también se puede imprimir comida, por ejemplo, el chocolate es un material apto y utilizado en la impresión 3D. Con respecto a las técnicas de impresión 3D, que más adelante serán desarrolladas, la más común es la impresión por deposición de material fundido también conocida como FDM. Otras técnicas conocidas son la estereolitografía o SLA y la sinterización selectiva por láser o SLS.

³STL y OBJ son formatos de transmisión de datos estándar por excelencia de la industria de creación rápida de prototipos, según 3Dsystems.

Cuando la impresión haya terminado, es posible que sea necesario cierto tratamiento. El más destacado y que, además, suele recordar al modelo tradicional, es la eliminación de soportes que han ayudado a mantener la pieza, ya que en el modelo tradicional, se utilizan también moldes en la fabricación de objetos. También podría ser necesario el lijado de superficies o pintado de las mismas.

2.4. Tipos de impresoras 3D y tecnologías asociadas

Gracias al desarrollo que ha tenido la impresión 3D desde su aparición, hoy en día, se encuentran diferentes tipos de impresoras, cada una apta para imprimir objetos tridimensionales con diferentes tipos de materiales. A continuación, se mencionarán algunos de los tipos más comunes de impresoras 3D y sus tecnologías asociadas:

1. FDM impresión por deposición de material fundido: Hasta 2004, la empresa Stratasys tuvo en exclusiva esta tecnología gracias a haberla patentado. Es una de las tecnologías más utilizadas, en parte, porque es la más barata. La impresora 3D utiliza un filamento termoplástico que se derrite y deposita capa por capa para construir el objeto.
2. SLA impresora 3D por Estereolitografía: Comúnmente llamada impresora de resina. Fue la primera en utilizarse. Esta tecnología es un poco más complicada que la anterior, el material utilizado es una resina líquida que se endurece cuando se expone a la luz ultravioleta. Por consiguiente, un proyector o láser de dicha luz es utilizado para solidificar la resina necesaria y así construir el objeto.
3. SLS impresora 3D de Sinterización Selectiva por Láser: Proceso de fabricación similar a la tecnología SLA, ya que un láser rodea la pieza para ensamblarla sin dejar que se funda. Su uso suele ser industrial ya que el coste de la impresora asociada es elevado.
4. DLP Procesamiento digital de la Luz: A pesar de tener el mismo funcionamiento que la tecnología anterior, esta tecnología ofrece un mejor

acabado y es más rápida. También ha sido la que ha permitido crear otra impresora 3D, la Creality LD-002R.

5. MSLA estereolitografía enmascarada : variante de la tecnología SLA. MSLA utiliza una máscara LED que emite luz ultravioleta a través de una pantalla LCD. Esta pantalla está compuesta de píxeles cuadrados. Considerada una de las tecnologías rápidas.

FDM es la técnica más utilizada de las mencionadas ya que no requiere conocimientos avanzados. Suele recomendarse para particulares que desean familiarizarse con la impresión 3D. En cuanto a la SLA y la MSLA, ambas proporcionan piezas con mucha precisión, sin embargo, tienen un límite de tamaño, no pueden fabricar productos grandes. La SLA, por su parte, no es tan rápida como la MSLA, que se presenta como la mejor alternativa en cuanto a tiempo. Desafortunadamente, los materiales que utiliza suelen deteriorarse si se encuentran bajo humedad o larga exposición a rayos UV. Continuando con la SLS, ésta es la adecuada para la producción a nivel industrial debido a su bajo coste por unidad, además de que es apta para tratar metales en polvo. Sin embargo, esta impresora requiere una alta inversión de capital. Por último, DLP, podría decirse que es la versión mejorada de la SLA, pero a su vez, la calidad del producto impreso dependerá de las condiciones ambientales a las que éste sea expuesto.

3. IMPACTOS DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA GESTIÓN EMPRESARIAL

3.1. Cambios en el modelo de producción tradicional

El modelo de producción tradicional se basa en la fabricación sustractiva, el material no deseado se elimina con el fin de obtener el objeto final. Un claro ejemplo de esta técnica podría ser el tallado de diamantes, a los que se les va quitando ciertas capas mediante distintas técnicas hasta conseguir la forma deseada. Hoy en día, la gran parte de los productos que se utilizan se siguen fabricando mediante técnicas sustractivas como podría ser el limado o el corte. Debido a este hecho, la impresión 3D se presenta como un suceso que revoluciona el modelo de producción tradicional.

La "fabricación aditiva", como su nombre indica, construye productos de abajo arriba, igual que los niños de todas las edades construyen artefactos complejos combinando simples bloques de Lego. La fabricación aditiva es un poco más compleja, pero puede considerarse como una pistola de pegamento caliente controlada por ordenador que utiliza una combinación cuidadosamente calculada y medida de elementos básicos que se unen a medida que se colocan, añadiendo cada capa a la anterior (Berman, 2012; H. J. Brown, 2012).

A continuación, las principales diferencias entre la fabricación tradicional y la fabricación por impresión 3D :

Modelo de producción tradicional	Modelo de producción impresión3D
Fabricación por lotes de productos idénticos.	Fabricación de productos personalizados.
Enfoque : población.	Enfoque : individual.
Requiere optimización.	No requiere optimización.
Necesidad de un alto tiempo de fabricación.	Fabricación rápida.
Poca flexibilidad.	Mucha flexibilidad ya que se adapta a las necesidades.
Alta variedad de materiales aptos para la fabricación.	Materiales aptos para la impresión 3D, reducidos.
Necesidad de invertir en máquinas muy costosas	Solo se debe adquirir una máquina
Problemas de fallos en los lotes.	Problemas de impresión.
Varios pasos en el proceso de producción.	Solo un paso en el proceso de producción.

Tabla 3.1. Fuente: elaboración propia

Gracias a la tabla anterior, podemos sacar los puntos fuertes y débiles de los dos modelos de producción. El modelo de producción tradicional está enfocado a producir lotes idénticos con el fin de satisfacer una demanda global. Su objetivo es optimizar la producción, pero para ello requiere un alto tiempo de fabricación.

La impresión 3D se presenta como alternativa a este modelo, presentando una alta flexibilidad que hace posible que el producto se adapte a cada individuo, dejando lugar a la personalización. Es mucho más rápida que el modelo tradicional y, además, solo necesita una máquina para la producción, abriendo así las puertas a pequeñas empresas que no pueden permitirse costearse una máquina para cada etapa del proceso de producción tradicional. Sí es cierto que este último cuenta con más materiales aptos para la producción, pero poco a poco la impresión 3D va avanzando y adaptándose a más materias primas.

En cuanto a los problemas derivados de la fabricación de ambos modelos, en el tradicional, se pueden dar fallos en los lotes lo que puede provocar pérdida de material y producto. En la impresión 3D, pueden darse problemas de impresión y de calidad, como desprendimiento de capas.

3.2. Ventajas competitivas y desafíos de la impresión 3D

La impresión 3D ha revolucionado el modo de producción, ofreciendo multitud de ventajas sobre los métodos tradicionales. Una de las principales es la reducción de los costes de producción. A diferencia de los métodos convencionales, que requieren la fabricación de moldes o herramientas específicas, la impresión 3D permite producir objetos directamente a partir de modelos digitales. Esto reduce significativamente los costes de mano de obra y material, al tiempo que ofrece una gran flexibilidad de diseño. Las empresas pueden ahorrar tiempo y dinero al evitar complejos procesos de fabricación y montaje. Además, un aumento de la complejidad del diseño no implica mayores costes de producción, al contrario de lo que ocurre con las tecnologías convencionales, en las que los costes unitarios de producción suelen aumentar a medida que aumenta la complejidad del diseño del producto (Kota et al., 2000).

Otra ventaja clave de la impresión 3D es la flexibilidad de diseño. La tecnología permite crear formas complejas, geometrías y estructuras internas detalladas que serían difíciles, si no imposibles, de conseguir con otros métodos de fabricación. Los diseñadores pueden dar rienda suelta a su creatividad y ampliar los límites tradicionales del diseño. Esto abre nuevas posibilidades en campos

como la arquitectura, el diseño de productos, la medicina e incluso la industria aeroespacial. En teoría, la impresión 3D es capaz de producir cualquier diseño de producto físicamente viable compilado en un modelo 3D, porque los productos se fabrican capa por capa. Así, los diseños de los productos pueden optimizarse según su función deseada, en lugar de limitarse por la tecnología de producción o las restricciones de la cadena de suministro (Berman, 2012; Lipson y Kurman, 2013).

La velocidad del proceso de producción es otra de las grandes ventajas de la impresión 3D. Los plazos de producción se reducen drásticamente, lo que permite a las empresas sacar productos al mercado con rapidez y responder con de mejor manera a la demanda de los consumidores. Esto es especialmente beneficioso para la creación rápida de prototipos. Los diseñadores pueden producir rápidamente sus ideas y probar prototipos en un breve espacio de tiempo. El director de tecnología de Black & Decker, empresa dedicada a la fabricación de herramientas de bricolaje, informó de que, antes de utilizar las impresoras 3D, la oficina de servicios solía tardar entre 3 y 5 días en devolver un prototipo. Sin embargo, con las impresoras 3D in situ, los prototipos pueden fabricarse en unas pocas horas ("Simplifying", 2010).

Además de estas ventajas, la impresión 3D también ofrece la posibilidad de la personalización y la producción a pequeña escala. Ahora es posible producir artículos únicos y personalizados que satisfagan las necesidades específicas de los clientes, sin costes adicionales. Esto abre nuevas oportunidades para empresarios y artesanos que quieran crear productos únicos y diferenciados en el mercado.

Por último, la impresión 3D ofrece una gestión optimizada de los materiales, lo que permite un uso más eficiente de los recursos. A diferencia de los métodos tradicionales, en los que a menudo se desperdician grandes cantidades de material, la impresión 3D utiliza únicamente los materiales necesarios para fabricar el objeto. Algunas tecnologías de impresión 3D también permiten el uso de materiales reciclados, lo que ayuda a reducir la huella medioambiental de la producción. Como dato, entre el 95% y el 98% del material de desecho puede

reciclarse en la impresión 3D (Petrovic, 2010). Esto promueve un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente, minimizando los residuos y maximizando el uso de los recursos disponibles.

En resumen, la impresión 3D ofrece muchas ventajas en el campo de la fabricación. Reduce los costes de producción, ofrece una flexibilidad de diseño ilimitada, acelera el proceso de producción, personaliza los productos y permite la producción a pequeña escala. Además, optimiza la gestión de materiales y ofrece la posibilidad de utilizar materiales avanzados, lo que abre nuevas perspectivas en diversos sectores industriales. En cualquier caso, la impresión 3D sigue evolucionando y desarrollándose, abriendo nuevas oportunidades y ampliando los límites de la fabricación tradicional. Su potencial es inmenso y resulta emocionante imaginar futuros avances que transformarán aún más nuestra forma de producir y crear objetos.

Como se ha visto, las ventajas de la impresión 3D son abundantes. Sin embargo, muchos productores aún no se atreven a cambiar su modelo de fabricación tradicional por el modelo de impresión 3D. La razón principal es que cuando se desea fabricar productos a gran escala, la utilización de una impresora 3D puede conllevar los siguientes desafíos:

- El alto coste económico del equipo.
- Necesidad de encontrar materiales aptos para impresión 3D y para la industria en cuestión. los materiales disponibles no siempre coinciden con las características de los procesos de fabricación (Berman, 2012.)
- Requisitos posteriores al proceso de producción. la mayoría de los fabricantes siguen exigiendo un acabado superficial adicional (Berman, 2012.)
- Falta de habilidades o experiencia en este campo tan moderno.
- Costes de fabricación.
- Avances y capacidades de los programas informáticos.
- Reciclabilidad del material en cuestión.

Estos desafíos no deben desincentivar la apuesta por la impresión 3D. A continuación, se presentan varias ideas para poder sobrellevarlos. Dado que hay ciertas máquinas con un coste económico elevado, se podrían considerar opciones como : externalización de la producción a empresas que presten servicios de impresión 3D o colaboración con compañías que ya cuenten con dicha tecnología. De esta manera se reducen los costes iniciales, pero a su vez, se adquiere experiencia. Con respecto a los materiales aptos y los requisitos posteriores al proceso de producción, la única solución es seguir investigando y desarrollando la tecnología de la impresión 3D, seguir ensayando ya que fallar es más barato mediante la impresión 3D que con el modelo tradicional.

En resumen, para superar los anteriores desafíos, hay que mantenerse actualizado en la materia, ya que, hoy en día, avanza a grandes pasos, sobre todo por su estrecha relación con la tecnología. Además, los desafíos nombrados pueden superarse si todas las empresas que lo utilizan reman en el mismo sentido, es decir, ayudando a desarrollar la impresión 3D en su conjunto, compitiendo para alcanzar la tecnología más innovadora con el fin de que esta misma, se ajuste a cada producto y cada modelo de negocio.

3.3. Casos de éxito empresarial en la implementación de la impresión 3D en sectores tradicionales

Poco a poco, vemos que las empresas van adoptando la impresión 3D en todos o algunos de sus procesos de fabricación. En la actualidad, suelen ser las compañías más conocidas quiénes apuestan por dicha experimentación, con el objetivo de proclamarse líderes en su sector. El resultado es favorable para ellas y para el mercado en el que actúan, ya que, gracias a dicho cambio, estas grandes corporaciones pueden desarrollar nuevos productos, mejorar los que ya existen, además de animar a sus competidores a implantar esta nueva tendencia.

Hay muchos sectores que han optado por introducir dicho modelo de producción, como podría ser la industria moda o la industria automotriz. También cabe hacer

referencia a los avances médicos que ha supuesto la impresión 3D, en la creación de prótesis, implantes o medicamentos.

Pero, como verdadero caso de éxito y, sobre todo, sorprendente, ya que pocos podrían imaginarse que tal sector estaría dispuesto a apostar por esta nueva tecnología, vamos a centrarnos en desarrollar el uso de la impresión 3D en la industria aeroespacial. Esta industria es pionera en la adopción de la impresión 3D ya que compañías como Boeing o Embraer comenzaron a utilizarla a finales de la década de 1980. Actualmente, dentro de las grandes empresas de este sector, encontramos departamentos dedicados exclusivamente a I+D de la impresión 3D.

Las ventajas específicas de utilizar dicha tecnología en la industria aeroespacial son las siguientes:

- Trabajo y diseño más rápido.
- Producción de piezas más ligeras y resistentes.
- No hace falta ensamblaje.
- Reduce el desperdicio de materias primas de alto coste.
- Acelera los tiempos de comercialización.
- Reduce costes y recursos.
- Optimiza inventarios y logística.

Tres son los casos que más sorprenden sobre el uso de la impresión 3D en la industria aeroespacial:

- 1) Embraer, productor brasileño de aviones, sustituye su E-Jet original (avión de medio alcance) por el E2 en 2018. Este segundo, utiliza el termoplástico, uno de los materiales aptos para la impresión 3D y, sobre todo, adecuado para el sector aeroespacial, para sustituir los procesos más lentos de la fabricación del E-jet. Gracias a esta mejora, estos procesos se realizan en la mitad de tiempo y generan un 65% menos de residuos. El resultado es espectacular, nos encontramos ante un proceso sostenible, compuesto de piezas más ligeras, que se fabrican en menos tiempo, lo que indudablemente acarrea menos gasto. Embraer produce al año 1.800

- piezas mediante impresión 3D para este tipo de aviones. Y como antes se mencionaba, es una de las empresas que cuenta con un departamento enfocado en el desarrollo de la impresión 3D. En este caso, sus ingenieros están desarrollando cómo imprimir piezas utilizando el metal como material.
- 2) Por su parte, Boeing, imprimió una cabina completa de avión mediante dicha tecnología. Además, su “Dreamlines 787”, se compone, entre otras, de 30 piezas impresas por 3D, batiendo así un récord para el sector. Pero lo más sorprendente, es que Boeing va a lanzar un satélite compuesto en parte por piezas impresas en 3D. La empresa norteamericana está fabricando hoy en día el WGS-11+, en colaboración con el ejército de los Estados Unidos. El objetivo es que el tiempo de producción sea el mínimo posible para poder luchar contra las amenazas. Troy Dawson, vicepresidente de Boeing Government Satellite Systems, afirma: *«Estamos imprimiendo más de un millar de piezas para el WGS-11+, lo que nos da la capacidad de introducir la personalización de forma que mejore el rendimiento del sistema, sin requerir grandes tiempos de integración ni herramientas personalizadas.»* Este satélite comenzó a desarrollarse a finales del 2021 y podrá estar listo en 2024, que, de ser real, revolucionaría el sector de la impresión 3D debido a su increíble rapidez.
- 3) Por último, en España encontramos una colaboración entre el Centro Avanzado de Tecnologías Aeroespaciales (CATEC), Airbus y la empresa de ingeniería CiTD con el fin de reducir el peso de la nave que va a viajar a Júpiter, mediante el uso de la impresión 3D en metal. La nave, JUICE (Jupiter ICy moons Explorer), cuenta con 11 piezas que han sido impresas utilizando dicha tecnología, en España. Gracias a dicha apuesta, se ha reducido en un 52% el peso de la estructura. La tecnología utilizada ha sido la LPFB fusión láser por lecho de polvo, que ofrece una gran amplitud de diseños, mucho más ligeros que los que ofrecen los modelos tradicionales. Según Marta García-Cosío, directora de CiTD, *“la misión espacial JUICE requiere una gran reducción en masa de la estructura frente a los instrumentos científicos y al combustible, y gracias a la tecnología de impresión 3D hemos podido diseñar y optimizar la masa de la estructura secundaria del satélite”*. A parte de reducir el peso, la nave

fue creada en tiempo récord, lo que reafirma que la impresión 3D llega para desplazar al modelo tradicional.

3.4. Nuevos sectores y modelos de negocio basados en la impresión 3D

Además de revolucionar el modelo de producción tradicional y presentarse como la mejor alternativa al mismo en los sectores comentados, la impresión 3D puede ser también la base de nuevos modelos de negocio que ayuden a su publicidad y continúen desarrollándola gracias a la investigación que proponen.

- Consultor o asesor en impresión 3D: experto en dicha tecnología que brinda asesoramiento, orientación y servicios especializados a empresas o particulares que lo necesiten.
- Prestatario de servicios de impresión 3D: modelo de negocio basado en ofrecer la tecnología de la impresión 3D a terceros. Hoy en día puede que haya empresas reticentes a dicha tecnología y que antes de lanzarse a utilizar la impresora 3D quieran probarla, o que simplemente, los costes de inversión iniciales sean elevados y no puedan costearlos en un primer momento. Este negocio se basa en crear un centro de impresión 3D donde las empresas o incluso los particulares puedan acudir para imprimir el objeto deseado.
- Venta de impresoras 3D y materiales asociados: al igual que ocurre con las impresoras tradicionales, este negocio estaría basado en la venta de impresoras 3D y materiales que se necesitan para su uso. Lo que se busca es acercar esta tecnología para que se pueda popularizar y que no parezca tan inaccesible.
- Diseño y fabricación personalizada: Con la impresión 3D, se pueden ofrecer servicios de diseño y fabricación personalizada de productos. Este modelo de negocio puede aplicarse a diversas industrias, como la joyería, la moda, la arquitectura y la medicina.
- Creación de modelos y archivos de diseño: Muchas personas y empresas necesitan modelos 3D y archivos de diseño para imprimir. Se podría optar por la especialización en la creación de modelos y la oferta de servicios

de diseño a medida. Esto incluye el escaneo 3D de objetos existentes, la creación de diseños desde cero o la modificación de archivos.

- Educación y formación: desde mi punto de vista, la más importante. De esta manera se puede hacer llegar a todas las personas los beneficios de la impresión 3D, la facilidad de su uso y lo que convendría utilizarla día a día. También ayuda a desarrollar las habilidades de las personas y sobre todo a construir una comunidad cuyo objetivo sea la evolución y el desarrollo de esta materia, que puede utilizarse tanto para fabricar y obtener rentabilidad como hobby. Además, cuanto más se forme a la población en esta nueva tecnología, más investigación se hará y se llegará a mejores resultados para la sociedad gracias a la aplicación de la impresión 3D.

4. IMPLICACIONES ECONÓMICAS Y FINANCIERAS

En este apartado se analizará de manera exhaustiva los costes que conlleva el uso de la tecnología en cuestión, además de los ahorros que se puedan lograr con respecto a su mayor competidor, el proceso de producción por moldeo de inyección que más tarde se explicará en qué consiste. Por último, para seguir demostrando la viabilidad económica de la impresión 3D, se presenta un ejemplo de retorno de inversión, que mostrará la rentabilidad económica asociada a un objeto impreso mediante 3D.

4.1. Análisis de costes y ahorros potenciales

Costes iniciales:

- La inversión inicial para adquirir una impresora 3D y el software necesario puede ser significativa. El precio de una impresora 3D depende del uso que se le quiera dar.

Principiante : entre 350 y 2000 dólares.

Rango medio : entre 2500 y 6000 dólares.

Profesional : más de 6000 dólares.

- Software de impresora 3D y software de diseño CAD : la adquisición de ambos puede variar entre 400 y 1750 dólares, en grado profesional.

También se ofrecen softwares gratuitos, aunque no sean muy sofisticados.

- Elección de la tecnología : FDM se presenta la más rentable, aunque también la más básica. SLA es la mejor opción si se apuesta por la precisión, aunque su precio sea más elevado. SLS y DMLS tienen un precio alto ya que tratan con materiales como el metal.

Preparación de la impresora: el precio de instalación de la misma varía dependiendo de la tecnología que se desee utilizar. Si se utiliza FDM, el precio estaría entre 200 y 1000 dólares.

Costes por impresión : debemos tener en cuenta 3 tipos de costes

- Amortización : depende del precio de la impresora.
- Electricidad : depende del precio de la electricidad de dónde se produzca.
- Operario : no se requiere mucha especialización para vigilar el proceso de impresión, pero sí una persona que se encargue de todo lo que conlleva que la máquina esté en funcionamiento, por lo que varía en función de las horas de impresión.

Coste del material : depende del material con el que se desee producir, por ejemplo, el filamento (apto para FDM) suele ser el más barato si no se utiliza la opción premium, como también lo es el polvo. La resina suele ser la mejor opción en cuanto a producir mediante impresión 3D, aunque su precio sea más elevado. Y, por último, encontramos materias premium, bastante caras, como el acero aleado, apto para DMLS.

Volumen de la pieza : Evidentemente, cuánto más grande sea la misma, más caro resultará producirla ya que el tiempo de impresión, el uso de electricidad y de mano de obra serán más altos, además del uso de material. Sin olvidar que, el coste de una impresora capaz de producir productos grandes también es más elevado.

Post-procesamiento :en algunas ocasiones, las piezas necesitan tratado especial después de su impresión, lo que conlleva un coste adicional. Por ejemplo:

- Pulido: consiste en dejar la superficie de la pieza más lisa.
- Galvanoplastia : consiste en cubrir la pieza de oro o plata con el fin de convertirla en más resistente. Suele ser muy costoso.
- Recubrir con epoxi : Epoxi es una resina que aumenta la resistencia de la pieza. Es muy eficaz, aunque aumenta considerablemente el coste de la pieza.

Coste de mantenimiento : no suele ser muy elevado para las impresoras poco complejas. Para una impresora con tecnología FMD suele variar entre 200 y 500 dólares. En estos costes también habría que tener en cuenta las eventuales reparaciones.

Coste de fallos : suele ser mucho menor que el coste de fallos en el modelo tradicional ya que se puede actuar de una manera más rápida para erradicarlo.

Coste de formación : Es un coste muy importante ya que habría que formar a los empleados en este campo. Hoy en día se ofrecen múltiples formaciones sobre la materia, tanto online como presencial.

Con respecto a los ahorros potenciales :

Para poder entender mejor este apartado, haremos una breve, pero ilustradora comparación de la impresión 3D con el moldeo por inyección⁴, que suele ser su rival por excelencia.

⁴ El moldeo por inyección es, hoy por hoy, una de las técnicas más comunes en el procesamiento de plásticos. Este proceso consiste en fundir el polímero y hacerlo fluir bajo presión y temperatura en un molde, en el cual la pieza solidifica y duplica su forma (García, 2012).

Ahorro en inversión inicial : para imprimir en 3D solo se necesita una máquina, cuyos precios ya se han visto anteriormente. Sin embargo, para producir mediante moldeo por inyección se necesita adquirir una máquina (preferiblemente que incluya los 4 pasos que necesita este modelo de fabricación) que cuesta entre 50.000 y 200.000 dólares.

Ahorro en costes por impresión: Con la tecnología de impresión 3D, es posible reducir o eliminar algunos de los costes asociados al moldeo de inyección. Esto incluye la reducción de los costes asociados al uso de herramientas o moldes, al poder fabricar directamente las piezas sin necesidad de procesos adicionales. Los moldes que necesita la máquina de moldeo por inyección de manera obligatoria oscilan entre 5.000 y 50.000 dólares, dependiendo de su vida útil.

Ahorro en costes de almacenamiento: La producción por moldeo de inyección a menudo requiere un inventario considerable de piezas o componentes ya que de cada tirada se suelen sacar al menos 100 piezas ya que es necesario sacar el máximo beneficio de cada uso. Con la impresión 3D, es posible fabricar las piezas bajo demanda, lo que reduce la necesidad de mantener un inventario y liberar espacio de almacenamiento.

Optimización del diseño: La impresión 3D permite la fabricación de piezas más complejas y optimizadas que la tecnología contraria. Esto puede resultar en una reducción del material utilizado, lo que conlleva ahorros en los costes de material y también dinerarios, ya que no hace falta invertir en moldes costosos.

En teoría, la tecnología de impresión 3D capaz de producir cualquier diseño de producto físicamente viable, porque los productos se fabrican capa por capa. Así, los diseños de los productos pueden optimizarse según su función deseada, en lugar de limitarse por la tecnología de producción o las restricciones de la cadena de suministro (Berman, 2012; Lipson y Kurman, 2013).

Ahorro en costes de transporte: La impresión 3D localiza la producción más cerca del punto de consumo, lo que puede reducir los costes asociados con el transporte de productos acabados desde ubicaciones lejanas. Como la máquina

de impresión 3D no es tan pesada como la de moldeo por inyección, esta no está obligada a encontrarse en una fábrica a las afueras de las ciudades.

Ahorro en plazos de entrega: Los plazos de entrega para la producción de lotes individuales de variantes de productos pueden reducirse en gran medida, mientras que las variantes de productos pueden producirse en cualquier secuencia sin tiempo de cambio adicional ni costes de cambio. Esto propicia la producción local. Como resultado, las ventajas de costes de producir en países con salarios bajos podrían disminuir a largo plazo (Petrovic, 2010; Schuh, 2011).

4.2. Ejemplo de ROI o retorno de inversión

Con respecto al ROI o retorno de la inversión, vamos a recurrir a una nueva herramienta que Formlabs ha puesto a disposición de particulares o empresas que quieran experimentar y comenzar con la impresión 3D. Formlabs, desarrollador y fabricante estadounidense de la tecnología de impresión 3D, crea una calculadora de ROI para ilustrar a las empresas sobre el cambio a la impresión 3D. Ejemplo utilizando la calculadora de ROI:

Sector : producción.

Impresora : Fuse 1+ 30W. Utiliza tecnología SLS y es capaz de fabricar hasta 315 piezas por semana, lo que equivale a 45 piezas por día. Precio de la impresora: a partir de 31.458,79€

Pieza a fabricar : conector para vehículos eléctricos.

Tamaño de la pieza : 59x47x37 mm

Volumen de la pieza : 5 cm³



Figura 4.1. Conector para vehículos eléctricos Fuente : Formlabs

Considerando que las necesidades de producción son 1 pieza diaria y el coste de la mano de obra 10€ por hora, el coste de cada pieza sería 21€ y el tiempo de producción 9h 25 minutos. Comparando con la externalización, el coste de cada pieza sería de 29,4€ y el plazo de producción 7 días. Por tanto, producir 365 piezas al año costaría 10.731€ con externalización y 7.707€ mediante impresión 3D, lo que supondría un ahorro del 28%. El ahorro anual sería de 3.024€. El ahorro de tiempo es del 94%.

Análisis de costes por pieza	Externalización	Fuse 1+30W
Costes fijos	0 €	19,78 €
Costes variables	29,40 €	0,51 €
Coste de la mano de obra	0 €	0,83 €
Coste por pieza	29,40 €	21,12 €

Tabla 4.2.Fuente: Formlabs

Explicación de los costes según Formlabs :

Costes fijos : La suma del coste de la Fuse 1+ 30W depreciado durante un periodo de 5 años, y los costes fijos anuales, distribuidos equitativamente entre el número de piezas que producirá.

Costes variables : Los costes de material y otros consumibles por pieza.

Costes de mano de obra : El tiempo de post acabado que requiere cada pieza multiplicado por el coste de mano de obra para la producción.

En general, el ejemplo ilustra de manera muy simple cómo la implementación de la impresión 3D puede generar beneficios significativos en términos de ahorro de costes, ahorro de tiempo y capacidad de producción para las empresas.

5. CASO DE ESTUDIO DE ÉXITO AL IMPLEMENTAR LA IMPRESIÓN 3D

5.1. Descripción de la empresa seleccionada

En este apartado, se estudiará el impacto de la impresión 3D en la empresa Mattel. Mattel es una compañía estadounidense dedicada a producir y vender juegos para todo tipo de público. Fue fundada en 1945 por Harold Matson y Elliot Handler. Su sede se encuentra en El Segundo, California.

Mattel es una de las compañías de juguetes más grandes del mundo, facturando 6.048,20 millones de dólares en 2022. Cuenta con casi 10.000 empleados y aunque en el primer trimestre de 2023, sus ventas netas hayan bajado en un 19%, sigue siendo la empresa con mayor cuota de mercado en el sector. Se ha destacado por la creación de icónicas marcas y franquicias. Algunas de sus marcas más conocidas incluyen Barbie, Hot Wheels, Fisher-Price y UNO, entre muchas otras.

La industria a la que Mattel se dedica es la del juguete y el entretenimiento. Nos encontramos ante un sector muy competitivo y que siempre se ha caracterizado por una evolución constante ya que al público al que se dirige es muy volátil y sus gustos y preferencias cambian muy rápido. Los productos diseñados quedan obsoletos a lo largo de pocos años o incluso meses. Sin embargo, Mattel ha sabido sobrellevar estos inconvenientes del sector, siendo una de las compañías que mejor ha sabido adaptarse, gracias a su alta innovación en diseños y sobre todo al provecho obtenido al adaptarse a las nuevas tecnologías. Desde hace varios años, Mattel se encuentra en un proceso de transformación digital y

desarrolla estrategias para poder adaptarse a un entorno que apuesta por la innovación y la tecnología.

Además de la industria del juguete, Mattel ha apostado también por otras áreas, como la industria del cine. Este 21 de julio de 2023, Mattel estrena la película de Barbie. La empresa ha esperado 36 años para lanzar el live-action, película en un escenario real que interpreta lo creado en animación. Además, el estreno acompaña el lanzamiento de una nueva colección de muñecas Barbie en honor de la película.

5.2. Proceso de implementación

En 2013, Scott Goodman, el que fuera vicepresidente senior de desarrollo global de productos en Mattel, anunciaba que el uso de la impresión 3D en sus fábricas les permitía ser más productivos, eficientes e innovadores en los diseños. Por aquel entonces, el coste de la impresión 3D seguía siendo relativamente elevado, o por lo menos, más caro que los métodos tradicionales.

Sin embargo, Mattel y otras empresas que también comenzaban a familiarizarse con la impresión 3D, como General Motors o Ford Motors, sabían que el coste disminuiría a medida que la demanda de impresión 3D aumentara. De hecho, en este mismo año, Mattel, se opuso a la venta de archivos de software para consumidores que permitirían al público imprimir sus propios juguetes en impresoras 3D de bajo coste. Un portavoz de la empresa declaró que ésta no podía garantizar que los juguetes que imprimieran los consumidores fueran seguros para los niños, lo que explicará, en parte, porqué la ThingMaker nunca llegó al mercado.

En 2015, Autodesk y Mattel anuncian la firma de un acuerdo exclusivo con el fin de potenciar la línea de juguetes de Mattel con diseño 3D. "Autodesk se dedica a proporcionar aplicaciones de diseño 3D e impresión 3D potentes y a la vez fáciles de usar para liberar la creatividad que todos llevamos dentro", afirma Samir Hanna, vicepresidente y director general de Consumo e Impresión 3D de Autodesk. El vicepresidente senior y director general de Mattel también se expresó al respecto de este acuerdo "La tecnología cambia a diario y al

aprovechar la experiencia de Mattel en el juego y la de Autodesk con las apps creativas y la impresión 3D, podemos ofrecer un nuevo tipo de experiencia de diseño 3D, continuando con el legado de Mattel de inspirar la imaginación y la creatividad.”

Gracias a esta colaboración, en 2016, ambos anuncian la llegada de la Thingmaker, una impresora 3D apta para niños mayores de 3 años que produce de manera ilimitada todos los juguetes que se puedan imaginar. Sin embargo, este producto nunca llegó a salir al mercado. Su lanzamiento se retrasó y finalmente se canceló. Seguramente esté relacionado con el estudio de la universidad tecnológica de Michigan, que asegura que los padres podrían ahorrarse hasta un 90% si imprimieran los juguetes de sus hijos en vez de comprarlos. También, como se mencionaba anteriormente, con la seguridad de los niños, ya que el uso de ciertos materiales para imprimir en 3D puede ser nocivo para la salud.



Figura 5.1. Prototipo de la impresora 3D para niños Thingmaker. Fuente: Hackday

Hace tres años, a principios de 2020, Jack Peach, el actual ingeniero jefe del equipo de innovación y diseño del producto de Mattel decidió adquirir una impresora 3D para mejorar su producción. Las impresoras 3D MakerBot se utilizan sobre todo para imprimir los primeros modelos prototipo para probar una función electromecánica. El equipo de Mattel utiliza una mezcla de materiales de impresión 3D en función de la aplicación.

Dado que la mayor parte del trabajo se realiza para demostrar una nueva característica o función, el equipo suele utilizar un material que pueda soportar cientos de ciclos. Recientemente, han empezado a utilizar ABS-R para carcasas y elementos estructurales debido a la gran resistencia al impacto y durabilidad del material, y fibra de carbono Nylon para engranajes.

Otro ejemplo reciente de Mattel en el que la impresión 3D demostró su utilidad fue cuando el equipo de Jack Peach estaba ideando una nueva característica para una línea concreta. Después de presentar algunos conceptos, el equipo construyó una maqueta de una de las interfaces de usuario que incluía luces y sonidos que se reproducían al mover un mando. Sin embargo, el mando era demasiado grande para caber en el juguete. Se modificó un modelo digital del juguete y el equipo diseñó rápidamente un mando más pequeño que se integró en el juguete. Tras verificar la dirección con el equipo de la marca, imprimieron las piezas en 3D, montaron el modelo, añadieron la electrónica y grabaron un vídeo de demostración. La función recibió excelentes críticas del equipo y ahora está prevista su producción.

"La proporción de aciertos y errores en el negocio de la invención de juguetes es una locura. Si una de cada cien de tus ideas llega al mercado, lo estás haciendo bien", afirma Peach. "El MakerBot METHOD y el METHOD X han cambiado las reglas del juego permitiéndome dar forma a la creación y llevar alegría e imaginación a la próxima generación de Makers".

5.3. Resultados y beneficios obtenidos

Para Jack Peach, el uso de la impresión 3D supone aumentar su grado de autonomía. Antes de apostar por esta tecnología, el ingeniero dependía del taller mecánico para la fabricación de prototipos y estos tardaban varios días en devolver la pieza. «Con Method y Method X, puedo producir rápidamente un concepto y darle forma física, tengo más control sobre el proceso y los plazos», señala Jack. «Tener una impresora 3D de alta calidad me abre nuevas puertas,

ya que me permite fabricar y probar funciones mecánicas antes, a veces ahorrándome días. Las piezas y ensamblajes complejos suelen estar listos de un día para otro».

Siendo un poco más precisos en los beneficios obtenidos:

- Mayor rapidez en el desarrollo de productos: Gracias a la implementación de la impresión 3D en el proceso productivo, Mattel ha podido disminuir el tiempo necesario para el diseño y lanzamiento al mercado de juguetes. Dicha tecnología reduce los tiempos de creación de prototipos y realización de pruebas, además de que permite enmendar los errores de manera más rápida y sencilla. También ayuda a que las decisiones se puedan tomar más rápido, porque se pueden adaptar de mejor manera al mercado competitivo en el que trabajan.
- Menores de costes de fabricación: Con el anterior modelo de producción, la creación de un prototipo, además de ser mucho más larga, era más costosa, debido al desperdicio de material y de moldes y herramientas necesarias para su fabricación. Gracias a la impresión 3D, estos costes se han reducido drásticamente ya que no es necesario el uso de moldes y el material suele ser reutilizable.
- Aumento de la calidad y precisión del diseño: La tecnología de impresión 3D ofrece mucha precisión y calidad. Esto ha facilitado el trabajo de los diseñadores de Mattel que ahora pueden perfeccionar detalles.
- Innovación: Como la impresión 3D puede producir cualquier objeto, no importa lo complejo que sea, los diseñadores pueden crear cualquier juguete que lleguen a imaginar. El resultado, producción de juguetes mucho más originales que generan un gran interés por parte de los consumidores.

La implementación de la impresión 3D en el proceso productivo de Mattel ha sido una apuesta que les ha reportado beneficios tales como la flexibilidad y la eficiencia. Ahora son mucho más rápidos, pueden optar por la personalización y todo ello sin dejar de lado la calidad, que es algo fundamental. Se ha convertido

en una de sus ventajas estratégicas con respecto a sus competidores que les permite seguir en cabeza de la industria de los juguetes.

6.CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha tratado de presentar la impresión 3D como un nuevo modelo de producción que pretende convertirse en una de las mayores ventajas competitivas de una empresa. Como se ha visto, su historia es reciente. A pesar de que los primeros vestigios de este modelo se encuentren a finales del siglo XIX, hemos tenido que esperar hasta la década de los 80 para que la impresión 3D sea desarrollada de manera exponencial. En los últimos 40 años, la impresión 3D ha sido aplicada en distintos sectores y campos, proporcionando grandes beneficios. Aunque durante el estudio no se ha mencionado mucho, la impresión 3D ha sido un grato descubrimiento para la medicina. Actualmente, se imprimen prótesis e incluso vejigas en 3D, sin olvidar también el uso que se le da en la industria farmacéutica.

En cuanto al proceso de creación de objetos, es diferente al modelo de producción tradicional ya que la impresión 3D utiliza la adición de materia para crear un producto, sin embargo, el otro modelo, se basa en la sustracción. Este proceso es bueno para la empresa ya que no se produce tanto despilfarro de materia prima y también es bueno para el medio ambiente, tema que inquieta mucho tanto a la sociedad como a las sociedades. Además, para su funcionamiento se necesita únicamente una impresora 3D y un ordenador con un software CAD necesario para modelar en 3D, lo que abarata los costes de inversión y hace que cualquier persona o empresa pueda lanzarse a fabricar sin contar con un gran capital.

Aunque la impresión 3D suponga el ahorro de muchos costes, también tiene los suyos propios. Sin embargo, si la idea es lanzar un negocio de forma rápida y con una pequeña inversión económica, este modelo se presenta como la mejor alternativa. La inversión inicial varía dependiendo del precio de la impresora,

pero se pueden encontrar, para un amateur, máquinas de 200€ cómo la Anycubic Photon Mono 2.

Este trabajo pretende conciliar la investigación técnica con la investigación económica de la impresión 3D. Si el objetivo es ser eficiente y sacar el máximo beneficio, se requieren unos conocimientos previos de la materia, para poder optar por la impresora y el material adecuado. De esta forma, se ha tratado de mostrar de una manera explícita que los ahorros y los beneficios de utilizar la impresión 3D no son solo teóricos, existen en la realidad. Y en este punto, se plantea que, si hay grandes empresas industriales que han optado por este modelo y lo siguen utilizando ¿por qué no lo haría cualquier otra persona? Además, los casos de éxito hablan por sí solos y que cada vez se dan más.

6.1 Problemas inherentes a la impresión 3D

A lo largo del trabajo, se ha presentado la impresión 3D desde un punto de vista principalmente positivo, pero, como en todo proceso productivo, no todo podían ser ventajas. La impresión 3D cuenta con una serie de problemas que necesitan ser solventados. Se podrían enumerar las siguientes.

- Aunque es posible aumentar la variedad de productos sin penalizar los costes de fabricación, la impresión 3D no puede aprovechar las economías de escala al aumentar el volumen de producción de una variante de producto (Berman, 2012). Este problema se encuentra parcialmente superado en la actualidad gracias a la aparición de las impresoras adaptadas al sector industrial.
- La impresión 3D también plantea graves riesgos para los derechos de propiedad intelectual de los diseños de productos (Kurfess y Cass, 2014). Con una legislación propia y dedicada a estos derechos relacionados con la impresión 3D, el problema jurídico sería solventado.
- Los problemas de calidad pueden disuadir a algunos clientes potenciales de comprar productos fabricados con tecnología de impresión 3D. Con respecto a ello, las empresas que utilizan impresión 3D, incorporan de

manera sucesiva, exhaustivos controles de calidad y seguridad, como sucede en cualquier fábrica de modelo tradicional.

- Se necesitan conocimientos técnicos para utilizar las máquinas y también para el acabado del producto. La solución a este problema, como se ha mencionado anteriormente, es a la vez un modelo de negocio. Creación de escuelas, cursos, incluso carreras que impartan los conocimientos necesarios para fabricar en 3D.

6.2. Líneas futuras de investigación

Como la impresión 3D no deja de ser una tecnología en proceso de desarrollo, a continuación, se presentan varias líneas de avance que podrían ser desarrolladas por los investigadores de esta materia:

- 1) Desarrollo de los materiales aptos para la impresión 3D. Se debe seguir investigando los materiales que hoy se usan para imprimir en 3D y la adaptabilidad de algunos nuevos. En este caso, habría que realizar una investigación exhaustiva sobre la toxicidad de éstos y aumentar las recomendaciones de uso. Se sabe que hay algunos materiales plásticos como el ácido poliláctico o resinas que pueden dañar de forma grave la piel si no se utilizan de forma adecuada.
- 2) Otra línea de investigación sería intentar adaptar al máximo la impresión 3D a la fabricación a gran escala. Para ello, debe investigarse cómo aumentar la velocidad de las impresoras sin comprometer la calidad de los productos.
- 3) Por último, aunque no se haya hecho un estudio exhaustivo sobre ello durante este trabajo, no hay que olvidar la gran aplicabilidad que tiene la impresión 3D en el campo de la medicina, siendo especialmente importante la bioimpresión 3D. Esta técnica se basa en utilizar la impresión 3D para fabricar objetos con materiales biológicos. La investigación de este concepto puede revolucionar la medicina

regenerativa y la industria de los trasplantes, además de que es una apuesta segura a nivel empresarial.

6.3. Limitaciones del trabajo

A pesar de que la impresión 3D cuenta con un amplio desarrollo científico, a la hora de realizar este trabajo, se ha podido comprobar que no se le da la misma publicidad que a otros modelos de producción. Como aún es difícil aplicarla a gran escala, hay una gran falta de información sobre costes en moneda real y no solo teóricos, que podrían evitarse al cambiar de un modelo de producción tradicional a la impresión 3D.

En el caso de éxito sobre la empresa Mattel, lo único que se menciona es el ahorro de tiempo que se consigue gracias a utilizar la impresión 3D. Sin embargo, no se proporciona información sobre el ahorro monetario. Además, este ejemplo es de una sola empresa en un sector concreto y podría diferir con otras empresas y otros sectores.

Existe mucha bibliografía técnica sobre este proceso de producción, pero aún falta mucho desarrollo económico sobre la aplicabilidad de la impresión 3D en el mundo empresarial.

6.4 Aplicaciones prácticas

Sculpteo, compañía de impresión 3D y fabricación, presenta en su *The State of 3D Printing Report* (reporte del estado de la impresión 3D) los objetivos que persiguen las empresas que utilizan impresión 3D: la disponibilidad de más opciones para reciclar objetos impresos, el desarrollo de materiales más sostenibles y un mayor avance en la reutilización de polvo utilizando tecnologías como SLS. Para poder alcanzarlos, los usuarios que ya utilizan dicha tecnología deben incitar a los que aún no la han probado a adoptarla, ya que solo de esta manera se apostará por el perfeccionamiento de esta industria. En la encuesta anual que realiza Sculpteo, podemos ver que el 59% de los encuestados querría

utilizar materiales beneficiosos para el medioambiente y un 41% declara que el uso de la impresión 3D les ayuda a mejorar la sostenibilidad de su empresa.

Por último, las perspectivas que ofrece la impresión 3D son tentadoras, pero requieren conocimientos técnicos precisos para ser plenamente explotadas. Por ello, la formación en impresión 3D es un reto importante para el futuro. Afortunadamente, cada vez más escuelas y cursos de formación ofrecen cursos especializados. Entre ellos destaca "La Nouvelle École". Esta institución ofrece cursos individuales dedicados a la impresión 3D. El objetivo es que todo el mundo sea autónomo en el manejo de esta nueva tecnología, sea cual sea su nivel de partida.

A modo de conclusión y citando al gran escritor y científico Arthur C. Clarke "cualquier tecnología suficientemente avanzada es equivalente a la magia", y en este caso, estamos ante una invención que va a facilitar mucho las vidas de los usuarios, como si de magia se tratara.

7.BIBLIOGRAFÍA

- École, L. N. (21 de Junio de 2023). *La Nouvelle École*. Obtenido de Les avantages de l'impression 3D pour les PME: <https://www.nouvelleecole.fr/blog/les-avantages-impression-3d-pme>
- 3D, T. (s.f.). *Impresión 3D en la fabricación*. Obtenido de Tractus 3D: <https://tractus3d.com/es/used-by/branches/manufacturing/>
- 3D.com, I. (1 de Mayo de 2017). *Impresoras 3D.com*. Obtenido de Tipos de impresoras 3D: <https://www.impresoras3d.com/tipos-de-impresoras-3d/>
- Al'Aref, A. S. (2018). History of 3D Printing. En *3D Printing Applications in Cardiovascular Medicine* (págs. 1-10). History of 3D Printing.
- AP, R. (24 de agosto de 2022). *Barbies y juguetes con impresión 3D: Mattel y MarkerBot lo hacen posible*. Obtenido de Ambiente Plástico: <https://www.ambienteplastico.com/barbies-y-juguetes-con-impresion-3d-mattel-y-markerbot-lo-hacen-posible/>

- Autodesk. (20 de Abril de 2015). *Autodesk and Mattel Team Up to Bring New Digital and 3D Printing Experiences to Kids and Families*. Obtenido de autodesk: <https://investors.autodesk.com/news-releases/news-release-details/autodesk-and-mattel-team-bring-new-digital-and-3d-printing>
- Baricz, H. R. (2016). 3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda. *Emerald Insight*, 1-22.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Science Direct*, 1-8.
- Bitfab. (s.f.). *¿Cuánto cuesta imprimir en 3D? Calculadora del precio de imprimir en 3D*. Obtenido de Bitfab: <https://bitfab.io/es/blog/cuanto-cuesta-imprimir-en-3d/>
- canada, 3. p. (12 de Junio de 2013). *How Mattel, Ford Motors and General Electric Incorporate 3D Printing*. Obtenido de 3D printers canada: Autodesk and Mattel Team Up to Bring New Digital and 3D Printing Experiences to Kids and Families
- Casey, L. (2009). Prototype pronto. *Packaging Digest*. 54—56.
- Cass, T. K. (2014). Rethinking Additive Manufacturing and Intellectual Property Protection. *Research-Technology Management* , 32-35.
- Christian Weller, R. K. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *ScienceDirect*.
- Deepak Gupta and Marc Tarlock, F. B. (2013). 3D Printing, Copyright Challenges, and the DMCA. *New Matter*, 1-16.
- Direct, R. (17 de Diciembre de 2021). *Costo del servicio de impresión 3D: los diferentes factores que determinan el costo de la impresión 3D*. Obtenido de Rapid Direct: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/costo-del-servicio-de-impresion-3d/>
- Economía3. (15 de Febrero de 2021). *Los diez principios de las impresiones en 3D*. Obtenido de Economía3: <https://economia3.com/los-diez-principios-de-las-impresiones-en-3d/>
- Fonda, C. (2014). *Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D*. Obtenido de Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D: https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d_carlo-fonda.pdf

- FormLabs. (s.f.). *¿Cómo se calcula el coste del moldeo por inyección?* Obtenido de FormLabs: <https://formlabs.com/es/blog/coste-moldeo-inyeccion/>
- G., M. (7 de Marzo de 2022). *Boeing imprime en 3D los componentes de un futuro satélite.* Obtenido de 3Dnatives: <https://www.3dnatives.com/es/boeing-3d-componentes-futuro-satelite-ejercito-usa-070320222/>
- García, S. (2012). *Diseño de un molde de inyección y elaboración de diagramas de moldeo para la empresa Unión Plástica.* Universidad Simón Bolívar (Venezuela): Informe Final de Cursos de Cooperación.
- H.J., B. (2012). Additive versus subtractive manufacturing.
- Hugo K.S. Lam, L. D. (s.f.).
- Hugo K.S. Lam, L. D. (2019). The impact of 3D printing implementation on stock returns A contingent dynamic capabilities perspective. *Emerald Insight*, 1-27.
- Imprimakers. (s.f.). *Empresas que no imaginabas que utilizarían la impresión 3D.* Obtenido de Imprimakers: <https://imprimakers.com/es/empresas-que-no-imaginabas-que-utilizarian-la-impresion-3d/>
- innovation, F. r. (2016). Technological Forecasting & Social Change. *Science Direct*, 1-11.
- Jan Kietzmann, L. P. (2015). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *ScienceDirect*, 1-7.
- Johnson, O. (9 de Agosto de 2022). *Mattel innovates the toys of tomorrow with MakerBot 3D printers.* Obtenido de tct mag: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/latest-additive-manufacturing-3d-printing-news/mattel-innovates-the-toys-of-tomorrow-with-makerbot-3d-printers/>
- Kota, S. S. (2000). A Metric for Evaluating Design Commonality in Product Families. *J. Mech. Des.*, 403-410.
- kumótica. (2 de mayo de 2022). *Historia de la impresión 3D: Año a año.* Obtenido de kumótica: <https://kumotica.es/blog/impresion-3d/historia-de-la-impresion-3d-ano-a-ano>
- Lipson, H. a. (2013). The New World of 3D Printing.

- M., A. (19 de Abril de 2023). *Utilizan la impresión 3D de metal para reducir el peso de la nave que viajará a Júpiter*. Obtenido de 3Dnatives: Boeing imprime en 3D los componentes de un futuro satélite
- Make, 3. E. (s.f.). *Impresión 3D Aeroespacial*. Obtenido de 3D Experience Make: <https://www.3ds.com/es/make/solutions/industries/3d-printing-aerospace>
- Petrovic, V. (2010). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research* , 1061-1079.
- printing&design, 3. (5 de Diciembre de 2022). *La impresión 3D avanza hacia una mayor sostenibilidad*. Obtenido de 3D printing&design : <http://www.3dprintingdesign.es/es/noticia/la-impresion-3d-avanza-hacia-una-mayor-sostenibilidad>
- Sachs EM, H. J. (1993). *Three-dimensional printing techniques*.
- Schuh, G. S. (2011). *Integrative Production Technology for High-Wage Countries*. New York: Springer.
- Servitec3D. (15 de Noviembre de 2020). *Tipos de impresoras 3D que existen y sus principales usos*. Obtenido de Servitec3D: <https://servitec3d.com/blog/tipos-de-impresoras-3d/>
- Sicnova3d. (23 de junio de 2023). *Mattel fabrica los juguetes del mañana incorporando la impresión 3D*. Obtenido de Sicnova3d: <https://sicnova3d.com/blog/casos-de-exito/mattel-fabrica-juguetes-impresion-3d/>
- SS, C. (1989). . *Apparatus and Method for Creating Three-dimensional Objects*. US.
- Tritic. (15 de noviembre de 2021). *Impresión MSLA*. Obtenido de Tritic: <https://www.tritic3d.com/post/impresión-msla>
- Vinodh, S. (2010). Agility through rapid prototyping technology in a manufacturing environment using a 3D printer. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Williams, A. (23 de enero de 2023). *ASK HACKADAY: DO KIDS NEED 3D PRINTERS?* Obtenido de hackday: <https://hackaday.com/2023/01/23/ask-hackaday-do-kids-need-3d-printers/>