

Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)

ESIT

Máster Universitario en Industria 4.0

La fabricación aditiva como habilitador de la customización en masa en PYMES

Trabajo Fin de Máster

Presentado por: Hazeu González, Mónica

Director/a: Prieto, Ignacio

Ciudad: Barcelona

Fecha: 6 febrero 2020

Índice de contenido

RESUMEN	6
ABSTRACT	6
1 INTRODUCCIÓN	7
2 ESTADO DEL ARTE	9
2.1 LA CUSTOMIZACIÓN EN MASA	9
2.1.1 Nike.....	10
2.1.2 BMW.....	11
2.1.3 Pruebas piloto.....	12
2.1.4 Shapeways	12
2.1.5 La customización en España	15
2.2 LA FABRICACIÓN ADITIVA	17
2.3 CONCLUSIONES SOBRE ESTADO DEL ARTE.....	18
3 DESCRIPCIÓN GENERAL	20
3.1 OBJETIVOS	20
3.2 METODOLOGÍA.....	20
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL PROYECTO	20
4 EMPATÍA.....	22
4.1 EL CONSUMIDOR	22
4.2 LA EMPRESA.....	24
4.2.1 Singularu.....	26
5 DEFINICIÓN	29
6 IDEACIÓN	32
6.1 EL MODELO 3D	32
6.1.1 POC del CAD.....	33
6.2 GESTIÓN DE PEDIDOS Y ENVÍO	44
6.2.1 Espacio de soluciones	52
6.2.2 Reglamento General de Protección de Datos	55
6.3 LA FABRICACIÓN	56
6.3.1 Sostenibilidad y economía circular	66
6.4 PRESUPUESTO Y PLAN DE IMPLANTACIÓN	74
7 CONCLUSIONES	80
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

9	ANEXOS.....	90
9.1	ANEXO 1: MERCADO DE LA JOYERÍA PERSONALIZABLE	90
9.2	ANEXO 2: COMPARACIÓN MÁQUINAS VIRTUALES	91
9.3	ANEXO 3: CÁLCULO COSTES IMPLEMENTACIÓN	94

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Nike by you interfaz. Fuente: <i>Nike by you</i> (s.f.)	10
Ilustración 2. Deportiva de Shelly-Ann Fraser-Pryce para los JJOOs. Fuente: Nike	11
Ilustración 3. Mini Yours Customized productos. Fuente: BMW.....	11
Ilustración 4. Aplicación de Shapeways para personalizar un collar. Fuente: Shapeways	13
Ilustración 5. Ejemplos de interfaces de productos personalizables que trabajan con Shapeways. Nervous System (izquierda arriba y abajo), Banner (derecha arriba), Arty Lobster (izquierda abajo). Fuente: Shapeways	13
Ilustración 6. Interfaz We are Huemans. Fuente: We are Huemans	14
Ilustración 7. Matriz producto-proceso. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012).....	15
Ilustración 8. Distribución de las estrategias de producción en la muestra. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012)	16
Ilustración 9. Empresas españolas en la matriz producto-proceso. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012).....	17
Ilustración 10. Consumidores que han comprado productos personalizados en cada categoría. Fuente: Deloitte (2015).....	22
Ilustración 11. Grado de participación del consumidor según la categoría del producto. Fuente: Deloitte (2015).....	23
Ilustración 12. Interés en productos personalizados por categoría y grupo de edad. Fuente: Deloitte (2015).....	24
Ilustración 13. Oferta de negocio de Singularu. Fuente: Singularu	26
Ilustración 14. Niveles de madurez digital. Fuente: Ministerio de economía, industria y competitividad	31
Ilustración 15. Pestaña para introducir el Add-in. Fuente: elaboración propia.....	34
Ilustración 16. <i>FusionSheeter</i> . Fuente: elaboración propia	34
Ilustración 17. Parámetros de diseño para los anillos. Fuente: elaboración propia	34
Ilustración 18. Anillo diseño 1. Fuente: elaboración propia	35
Ilustración 19. Anillo diseño 2. Fuente: elaboración propia	35
Ilustración 20. Tabla de diseño, parámetros. Fuente: elaboración propia	36
Ilustración 21. Tabla de diseño, operaciones (<i>features</i>) . Fuente: elaboración propia.....	36
Ilustración 22. Segunda configuración del anillo, parámetros. Fuente: elaboración propia ...	37
Ilustración 23. Segunda configuración del anillo, <i>features</i> . Fuente: elaboración propia	37
Ilustración 24. Configuración dos del anillo. Fuente: elaboración propia.....	38
Ilustración 25. Anillo fino en CURA. Fuente: elaboración propia.....	38
Ilustración 26. Impresión FDM, iteración 1. Fuente: elaboración propia.....	39
Ilustración 27. Impresión FDM, iteración 2. Fuente: elaboración propia.....	39

Ilustración 28. Impresión FDM, anillo 2. Fuente: elaboración propia.....	39
Ilustración 29. Código del Add-in referente a la exportación. Fuente: elaboración propia.....	40
Ilustración 30. VariCAD Viewer. Fuente: elaboración propia	41
Ilustración 31. Tres versiones del anillo convertidas a stl por VariCAD. Fuente: elaboración propia.....	41
Ilustración 32. Punto igualación costes entre soluciones de conectores. Fuente: elaboración propia.....	47
Ilustración 33. Base de datos Odoo Community. Fuente: elaboración propia.....	48
Ilustración 34. Modo desarrollador Odoo. Fuente: elaboración propia.....	49
Ilustración 35. Cenit app en Odoo. Fuente: elaboración propia	49
Ilustración 36. Ventana para crear acción planificada Odoo. Fuente: elaboración propia.....	50
Ilustración 37. Apps de Odoo recomendadas para Singularu. Fuente: elaboración propia ...	51
Ilustración 38. Página web: anillo triangular a=5mm. Fuente: elaboración propia.....	53
Ilustración 39. Página web: anillo trapezoidal a=10mm. Fuente: elaboración propia	54
Ilustración 40. Página web: anillo rectangular a=15mm. Fuente: elaboración propia.....	54
Ilustración 41. Colores pintura metalizada Ficep S3. Fuente: Ficep S3 (2020)	60
Ilustración 42. Anillo MJF con acabado color aluminio. Fuente: elaboración propia.....	60
Ilustración 43. Anillo MJF con acabado <i>Carbon Black</i> . Fuente: elaboración propia	60
Ilustración 44. Jaula con piezas tras la eliminación del polvo sobrante MJF. Fuente: Caron et al., 2019	62
Ilustración 45. DIH España especializados en Fabricación Aditiva. Fuente: Comisión Europea	68
Ilustración 46. Embalaje actual Singularu y joya (anillo). Fuente: Elaboración propia.....	70
Ilustración 47. Embalaje anillo Ohana Jewels. Fuente: elaboración propia.....	70
Ilustración 48. Ciclo de RePack. Fuente: RePack, s.f.	71
Ilustración 49. Estrategia de sostenibilidad. Fuente: elaboración propia.....	72
Ilustración 50. Proceso de customización. Fuente: elaboración propia.....	74
Ilustración 51. Coste mensual ERP. Fuente: elaboración propia	77
Ilustración 52. Costes mensuales actuales y con la personalización en masa. Fuente: elaboración propia.....	78
Ilustración 53. Distribución de costes y precio de venta. Fuente: elaboración propia.....	79
Ilustración 54. AWS EC2 coste	91
Ilustración 55. Microsoft Azure coste	92
Ilustración 56. Google CE coste	93

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificaciones de las <i>Advanced Manufacturing Technologies</i>	16
Tabla 2. Categorías de PYME según empleados y volumen de negocios	25
Tabla 3. Distribución del empleo empresarial 2016 (%).....	25
Tabla 4. open source vs closed source	44
Tabla 5. Matriz de decisión tecnología de fabricación	56
Tabla 6. Precios proveedores fabricación aditiva	58
Tabla 7. Costes de implantación customización en masa.....	75
Tabla 8. Plan de implantación	76
Tabla 9. Costes anuales del nuevo proceso	78

Resumen

La cuarta revolución industrial introduce tecnologías que permiten cambiar por completo no sólo la forma de fabricar sino el modelo de negocio. Este trabajo utiliza dichas tecnologías para permitir a las pequeñas y medianas empresas cambiar su modelo de la estandarización a la customización en masa, cubriendo las necesidades de los consumidores. Se utiliza la metodología *Design Thinking* para desarrollar la estrategia para una empresa concreta en base a sus necesidades. Utilizando tecnologías como la fabricación aditiva, el CAD en la nube, ERP y las máquinas virtuales se desarrolla una estrategia escalable, flexible, automatizada en la medida de lo posible y adaptable a distintos diseños. Se concluye que los habilitadores de la industria 4.0 permiten a las PYMEs adaptarse a un modelo de customización en masa de forma rentable, con márgenes altos y con una inversión asequible.

Palabras Clave: fabricación aditiva, customización en masa, PYME, joyería

Abstract

The fourth industrial revolution introduces technologies that completely change not only the manufacturing methods but also the business models. This project uses these technologies to allow small and medium companies (SME) to change their model from standardization to mass customization, covering customers' needs. Using the Design Thinking methodology, a strategy is developed for a specific company based on its needs. Thanks to technologies like additive manufacturing, CAD in the cloud, ERP and virtual machines, this project develops a scalable, flexible, automated (where possible) and adaptable (to different designs) strategy. The conclusion is that industry 4.0 enablers allow SMEs to adapt to a mass customization model in a profitable way, with high margins and an affordable investment.

Keywords: additive manufacturing, mass customization, SME, jewelry

1 Introducción

Con la segunda revolución industrial, se produjo un cambio radical en la relación consumidor-producto. Las nuevas cadenas de montaje permitieron montar una gran cantidad de productos idénticos en un tiempo muy reducido a expensas de la capacidad de decisión del consumidor. Se estandarizaron los productos para aumentar beneficios, buscando la configuración más barata (p.ej. el negro en el caso del Ford Model T). Esta revolución tuvo sin duda su parte positiva, pues permitió reducir los precios drásticamente, haciendo los productos accesibles a un porcentaje mayor de la población. Sin embargo, no fue una revolución impulsada por las necesidades del consumidor, y su modelo de negocio reduce la flexibilidad y aumenta el riesgo de la inversión.

“Con la Industria 4.0 pasaremos de la producción en masa a la customización en masa” (Kinsey, G., 2015). Estas fueron las palabras del vicepresidente de Hitachi Consulting, una consultoría de tecnología y gestión americana. Kinsey prosigue: “En el futuro, el cliente solicitará un producto en la web, incluso podrá diseñarlo; el sistema podrá conocer cuál es el mejor sitio para fabricarlo”. La realidad, como se verá en este proyecto, es que hay una alta demanda de productos personalizados^(a) pero los sistemas actuales de producción no pueden satisfacer esta necesidad. Es aquí donde entra la industria 4.0 y la razón de ser de este proyecto: desarrollar una estrategia escalable que permita a las PYMEs, que componen la mayor parte del tejido industrial español, incorporar la personalización en masa a su portfolio.

La fabricación aditiva es una tecnología que permite fabricar productos partiendo únicamente de un modelo 3D. Es una tecnología a la que no se le aplican prácticamente economías de escala, es decir, cuesta casi lo mismo fabricar una pieza que 1.000. Esto, que a menudo hace que se descarte para la fabricación de piezas en serie, la convierte en una tecnología ideal para la customización en masa. El objetivo de este trabajo es analizar si la fabricación aditiva, combinada con otros habilitadores de la industria 4.0 como los ERP, está lo suficientemente madura como para permitir una revolución en el diseño de productos, pasando la capacidad de decisión de la empresa de vuelta al consumidor.

^a Personalización y customización no son exactamente lo mismo. Customización, palabra derivada del inglés, se utiliza para referirse a la acción por parte del usuario para ajustar un producto a sus preferencias (p.ej. poner el nombre en un collar). Personalización se refiere a una acción por parte de la empresa para aumentar la satisfacción del cliente (p.ej. un asiento de coche que se ajusta automáticamente al set-up del conductor). Sin embargo, estas dos palabras se usan de manera intercambiable en la actualidad, por lo que este proyecto hará lo propio. Se usará predominantemente la palabra customización, pues, aun siendo un anglicismo, es la más comúnmente utilizada. (TechTarget, (s.f.))

Este documento está dividido en capítulos que narran cada parte relevante del proyecto. Se empieza por el “Estado del arte”, donde se analizan las soluciones existentes al problema de la customización en masa, así como las tecnologías existentes de fabricación aditiva. En “Descripción general” se describen los objetivos del proyecto, la metodología y las partes del proyecto. A continuación, en el capítulo “Empatía”, se analizan las necesidades del consumidor y de la empresa, y en “Definición” se concretan las soluciones al problema. Posteriormente, “Ideación” describe el desarrollo de la estrategia de customización en masa, finalizando el proyecto con las “Conclusiones”.

2 Estado del arte

2.1 La customización en masa

La customización en masa no es algo nuevo. El término apareció por primera vez en el libro *“Future Perfect”* de Stan Davis en 1987. En *“Mass customization: the new frontier of business competition”*, de 1992, Joseph Pine definió la customización en masa como “desarrollar, producir, publicitar y entregar productos y servicios asequibles con suficiente variedad y customización que casi todo el mundo encuentre exactamente lo que quiere” (Pine II, B.J., 1993).

Desde entonces, se han realizado numerosos estudios destacando las ventajas de la customización en masa, pero también sus limitaciones. En el artículo de 2001 de la *MIT Sloan management review* sobre los límites de la customización en masa (Zipkin, 2001), se destaca que tres aspectos son importantes para que esta pueda funcionar (Zipkin, P.H., 2001):

1. **Educción de requisitos**, es decir, conocer al consumidor y sus requisitos. Esto es difícil, afirma el autor, porque a menudo el propio consumidor no sabe lo que quiere, y le abruma un exceso de opciones para elegir. Es por eso que el proceso de customización en masa debe tener un buen “configurador”, que permita recolectar la información del consumidor.
2. **Proceso flexible**, al que le pueden ayudar tecnologías como CAD/CAM e innovación relacionada con lean. Según Zipkin, los procesos son más difíciles de flexibilizar cuantas más dimensiones involucren, es decir, es más fácil personalizar la longitud de corte de un tubo (una dimensión) que personalizar el tamaño de una pieza con operaciones de manufactura en tres dimensiones.
3. **Logística**, o conseguir que el producto llegue al cliente tras su fabricación. Esto se vuelve particularmente complicado porque una misma máquina o línea de fabricación flexible está produciendo multitud de productos únicos que deben ser enviados al cliente correcto.

Unos años más tarde, en 2009, se publica en la misma revista un artículo algo más optimista hacia la customización en masa, *“Cracking the Code of Mass Customization”* (Salvador, F., Martin de Holan, P. y Piller, F., 2009). En este artículo, se distinguen también tres requerimientos para que una empresa pueda llevar a cabo una estrategia de customización en masa, tras estudiar a 200 empresas en 8 países (España entre ellos). Estos requerimientos son muy parecidos a los identificados en el artículo mencionado anteriormente:

1. **Identificación de un espacio de soluciones**, es decir, los atributos del producto en los que las necesidades de los consumidores más varían.
2. **Diseño de un proceso robusto**, que incluye automatización flexible, procesos modulares y personal capaz de adaptarse.
3. **Apoyar al consumidor**, reduciendo el “peso” de la decisión y su complejidad.

Para los autores de este artículo, la customización en masa es un proceso más que un destino, es decir, se debe mejorar gradualmente en las tres dimensiones identificadas, funcionando la customización en masa de forma distinta para cada compañía.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de compañías que han apostado por la customización en masa.

2.1.1 Nike

Con el servicio Nike by you, Nike ofrece la oportunidad a sus consumidores de personalizar sus zapatillas de deporte. Desde 170 €, el consumidor puede elegir los colores de su zapatilla por zonas. La interfaz de usuario se puede ver en la Ilustración 1.

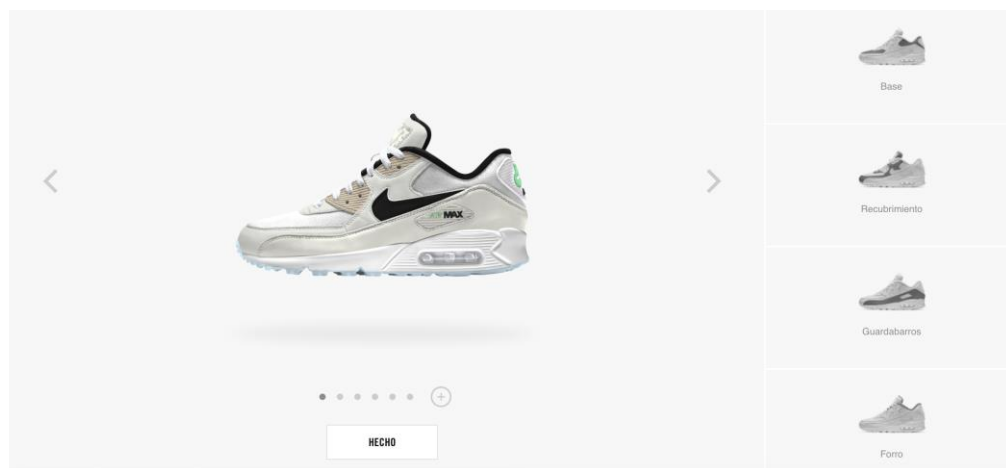


Ilustración 1. Nike by you interfaz. Fuente: Nike by you (s.f.)

Por otro lado, Nike está colaborando con una empresa de fabricación aditiva, Carbon 3D, para desarrollar una suela de deportiva impresa en 3D que se pueda personalizar según la pisada de cada persona. La corredora Shelly-Ann Fraser-Pryce llevó para los juegos olímpicos de Río (2016) un zapato con suela impresa en 3D (Ilustración 2). Sin embargo, este tipo de producto está lejos aún de la fabricación en masa (*Nike news* (s.f.)).



Ilustración 2. Deportiva de Shelly-Ann Fraser-Pryce para los JJOOs. Fuente: Nike

2.1.2 BMW

Hoy en día todas las compañías de coches ofrecen algún tipo de configuración para que el consumidor personalice, hasta cierto punto, su vehículo. Sin embargo, BMW ofrece un factor diferencial con su configurador de Mini Cooper. Este configurador permite cambiar cosas como el color interno y externo por zonas, entre otros. Pero lo verdaderamente distinto es su paquete Mini Yours Customized. Usando tecnologías como la fabricación aditiva y el grabado láser, ofrecen al usuario la oportunidad de comprar personalizadores como los que se ven en la Ilustración 3. El precio de estas piezas comienza en 145 € y la configuración permite, a partir del diseño base, cambiar el patrón de las figuras, el nombre y el color. Estas piezas se piden por un portal separado al del vehículo, es decir, no vienen integradas en el vehículo al comprarlo si no que el usuario las instala a posteriori. Las piezas se fabrican en una única localización y tienen un lead time de 3 a 5 semanas (*Mini preguntas frecuentes (s.f.)*).

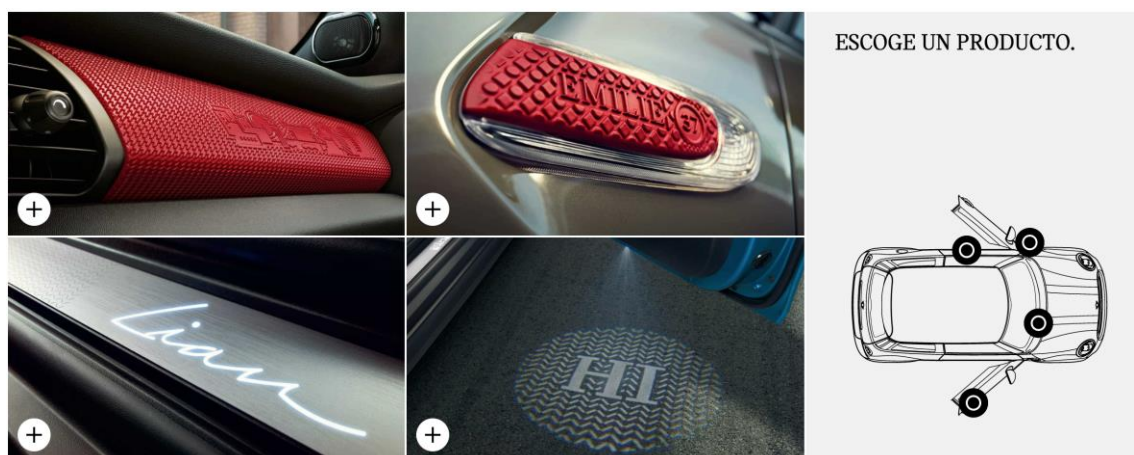


Ilustración 3. Mini Yours Customized productos. Fuente: BMW

2.1.3 Pruebas piloto

En lo que a pruebas piloto se refiere, se puede recopilar un número considerable de ellas. Eurecat, un centro tecnológico en Cataluña, está trabajando en el proyecto europeo Optician2020, que pretende para dicho año empezar a implantar un modelo de fabricación de gafas personalizadas de forma local partiendo de los datos anatómicos del cliente. Según su investigación, la fabricación de gafas usando estas tecnologías permitiría reducir la huella de carbono “entre un 15 y un 70 por ciento de media, dependiendo de los modelos y de los materiales, respecto procesos estandarizados.” (Eurecat (s.f.)).

Tanto Amazon (O’Toole, J., 2014) como Argos (Matisons, M., 2015), gigantes del comercio online, han hecho pruebas piloto para vender joyería u otros artículos del hogar personalizados (en tamaño, color y detalles) e impresos en 3D en 2014 y 2015 respectivamente. Amazon tiene además una patente que le permitiría recibir pedidos de sus clientes e imprimir los productos directamente dentro de un camión cercano que le traería directamente el producto al cliente (Bensinger, G., 2015).

Asda, la cadena de supermercados inglesa, llevó a cabo en 2015 una prueba piloto que permitía a los usuarios ser “escaneados” con una cámara y así comprar una versión en miniatura de sí mismos impresa en 3D (Mendoza, H.R., 2015). Como la prueba tuvo éxito, tienen instalado ahora uno de esos escáneres en cada una de sus 10 tiendas.

2.1.4 Shapeways

Shapeways es una de las mayores empresas de servicio de impresión 3D en la actualidad. Como tal, han desarrollado algunas aplicaciones que permiten a los usuarios customizar productos que Shapeways posteriormente imprime y les envía. Sus aplicaciones incluyen la personalización de anillos, llaveros, colgantes y un ornamento decorativo. En la Ilustración 4 se puede ver la interfaz de usuario de una de las apps, la que permite personalizar un collar. Se puede apreciar que se ofrece una gran cantidad de opciones, incluyendo posteriormente en cuanto al material y tipo de impresión que se quiere usar. Para su aplicación de personalización de anillo, por ejemplo, se ofrecen más de 50 materiales y colores distintos.

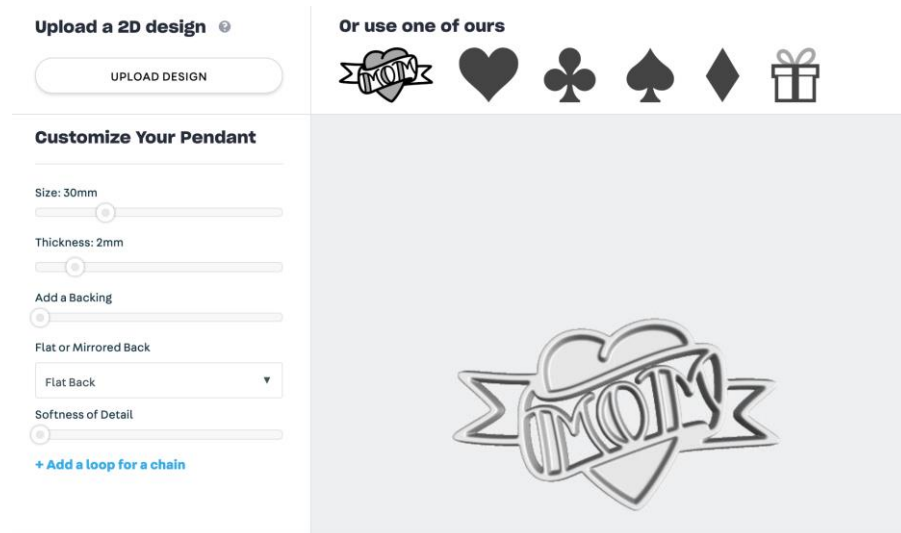


Ilustración 4. Aplicación de Shapeways para personalizar un collar. Fuente: Shapeways

Como proveedor de servicios de impresión 3D, Shapeways también imprime productos para una serie de empresas que ofrecen sus plataformas de personalización para joyería, artículos de decoración y pequeñas figuras. En la Ilustración 5 se pueden ver ejemplos de las interfaces de personalización para algunos de estos productos.

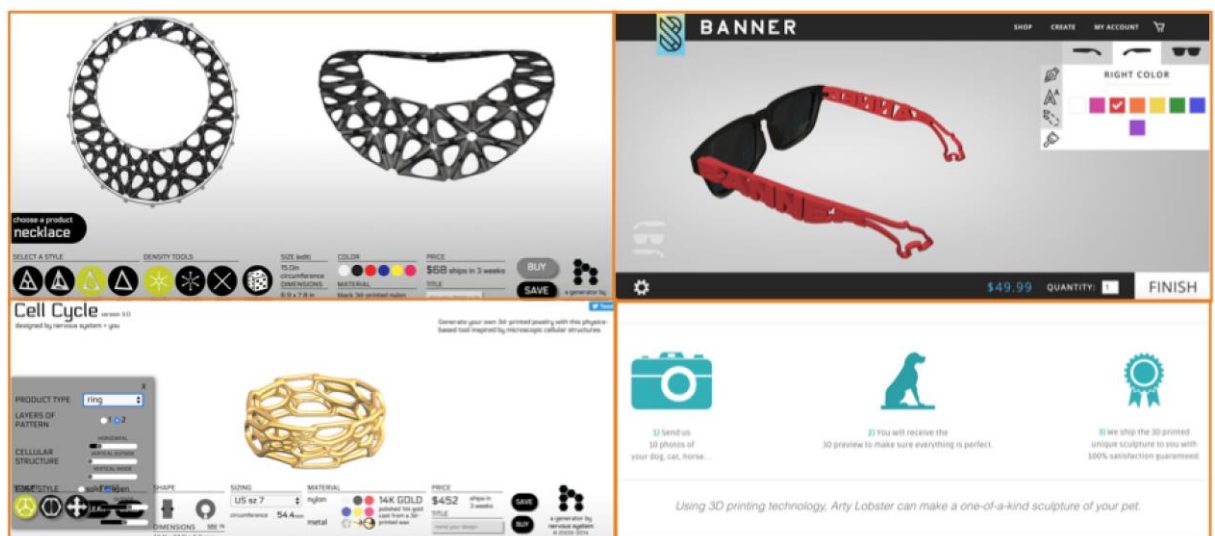


Ilustración 5. Ejemplos de interfaces de productos personalizables que trabajan con Shapeways. Nervous System (izquierda arriba y abajo), Banner (derecha arriba), Arty Lobster (izquierda abajo). Fuente: Shapeways

Nervous System permite customizar joyería con formas orgánicas, en concreto jugando con el patrón y cambiando la talla del anillo, el material o el color. Cosas a destacar de esta plataforma son la originalidad del diseño y la gran libertad del usuario para modificarlo. Por otro lado, el nicho de mercado es muy específico, limitándose a formas orgánicas, y algunas de las opciones de modificación de la aplicación como cambiar de anillo a pulsera o el tamaño de la joya no funcionan bien y no dan feedback al usuario a nivel de representación gráfica.

El precio de sus productos oscila dependiendo de la complejidad de la pieza, desde 23\$ por un anillo en nylon hasta casi 500\$ por el mismo anillo en fundición de oro a partir de un molde de cera impreso, pasando por un mínimo de 68\$ por un collar en nylon.

Banner, por su parte, es una empresa que permite customizar gafas de sol, cambiando el mensaje escrito en las patillas, la terminación de estas y el color de monturas y cristal. La aplicación funciona de forma fluida, y las gafas, por 50\$, dan apariencia de buena calidad.

Arty Lobster permite, a partir de 10 fotos de una mascota, conseguir un modelo en 3D en miniatura de dicha mascota. Es un ejemplo de personalización en masa con menor intervención del usuario. Los modelos cuestan unos 200€ (*Shapeways creator apps*, (s.f.)).

En la página de Shapeways, se pueden encontrar menos de 10 compañías dedicadas a la personalización de joyería (incluyendo Banner, que son gafas de sol). De estas, tres sólo permiten cambiar el nombre escrito en el accesorio, y todas tienen en común que están dedicadas a un nicho de mercado muy específico en el sentido de que tienen un único tipo de diseño que permiten al usuario customizar en tamaño o en forma exacta del patrón.

En lo que se refiere a figuras en miniatura hay otras 15 compañías. Por lo general, el procedimiento es enviarles a estas compañías una serie de fotos de lo que se quiere crear para que un experto modele el 3D que sirva de base para la impresión. La excepción es We are Huemans, que permite crear una figura a partir de ciertos parámetros como se ve en la Ilustración 6.

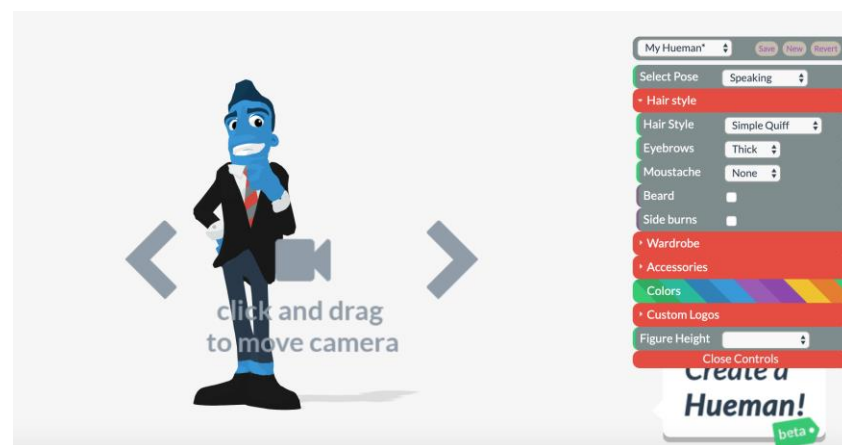


Ilustración 6. Interfaz We are Huemans. Fuente: We are Huemans

Estas compañías trabajando con Shapeways son el ejemplo más desarrollado de customización en masa usando impresión en 3D en la actualidad. Es importante destacar que Shapeways fabrica todos sus productos en dos centros de fabricación ubicados en Nueva York y en Holanda (*Shapeways customer support*, (s.f.)).

2.1.5 La customización en España

En 2012, Luis M. Arroyo-Gutiérrez y Montserrat Jiménez-Partearroyo realizaron un estudio con una muestra de 1436 empresas españolas dedicadas a la manufactura para determinar su estrategia según su lugar en la matriz que se observa en la Ilustración 7. Esta matriz indica la diagonal que tradicionalmente se ha considerado como la forma más eficiente y rentable de producir, aumentando la estandarización en función del volumen. Tuvieron en cuenta si las empresas tenían más de un 50% de productos personalizados y si fabricaban productos “en masa, de manera artesanal o continua” (Arroyo-Gutiérrez, L.M. et al., 2013). Además, dividieron las empresas en función de si usaban sistemas flexibles de fabricación o no. En la Tabla 1, en la fila de procesos, se puede ver lo que consideraron como sistemas flexibles de fabricación.

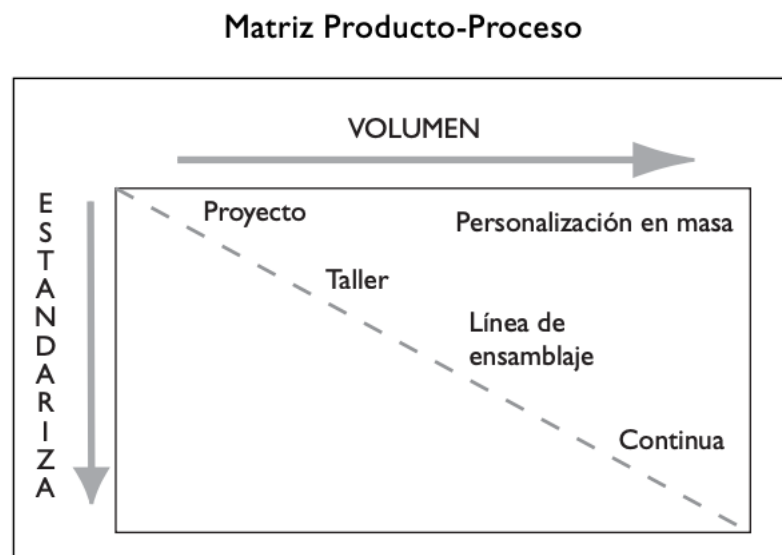


Ilustración 7. Matriz producto-proceso. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012)

Tabla 1. Clasificaciones de las *Advanced Manufacturing Technologies*

Clasificaciones de las AMT		
Función	Estrategia	EJEMPLOS
Diseño de producto	Innovación	- Diseño asistido por ordenador (CAD) - Ingeniería asistida por ordenador CAE)
Procesos	Flexibilidad	- Sistemas flexibles de fabricación (FMS) - Control numérico (CNC) - Células flexibles (FNC) - Controles programables - Fabricación rápida (RM): impresión tridimensional...
Logística y planificación	Integración	- MRP - ERP
Intercambio de información		- EDI - Networks. - LAN en la factoría

Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012)

En la Ilustración 8 y la Ilustración 9 se pueden ver los resultados de este estudio. Se puede apreciar que el estandarizado en masa y personalizado en taller son dos de las estrategias más comunes, esta última igualada, curiosamente, con el estandarizado en taller, estrategia supuestamente excluida de la diagonal de mayor eficiencia de la matriz producto-proceso. La estrategia de personalizado en masa supone un 17,4%, del que sólo un tercio usa tecnologías de fabricación flexibles, es decir, menos de un 6% del total de la muestra.

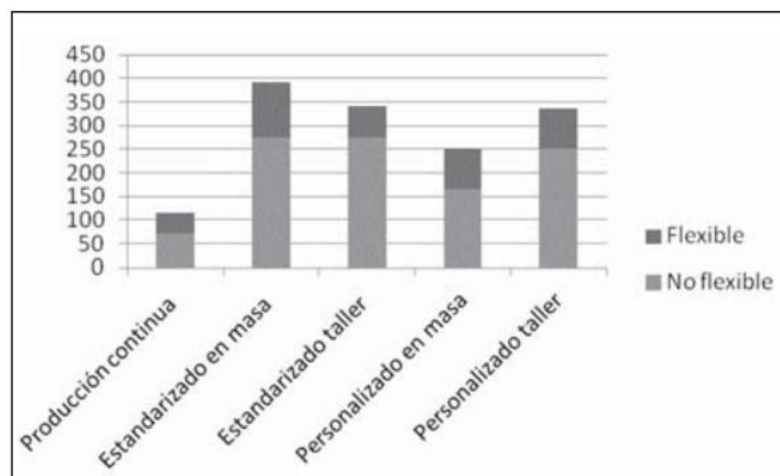


Ilustración 8. Distribución de las estrategias de producción en la muestra. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012)

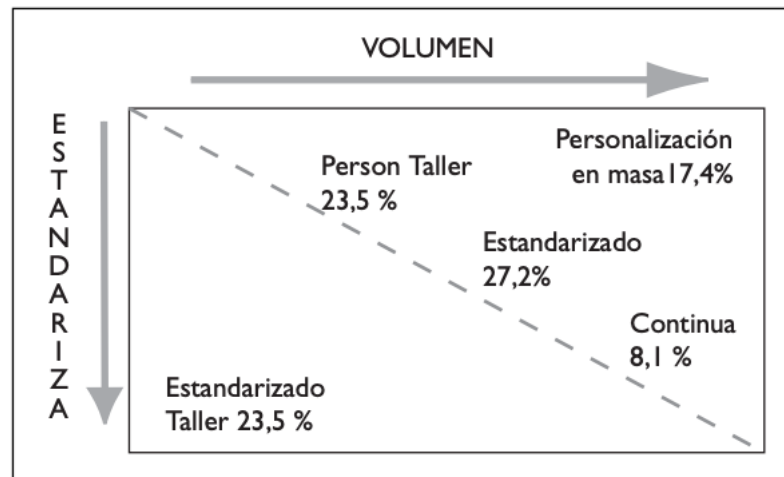


Ilustración 9. Empresas españolas en la matriz producto-proceso. Fuente: Arroyo-Gutiérrez et al. (2012)

Es muy posible que esta cifra haya aumentado desde el 2012 (no se han encontrado estudios similares más recientes). Sin embargo, el estudio muestra la realidad de la poca implementación de la personalización en masa en España, más aún aquella que usa tecnologías de fabricación flexibles. Teniendo en cuenta estas cifras, es necesario analizar si esto se debe al primitivo estado de la tecnología o simplemente a la falta de apuesta de las empresas por esta ciertamente más arriesgada estrategia.

2.2 La fabricación aditiva

De acuerdo con el estándar UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017, existen 7 categorías de tecnologías de fabricación aditiva:

- **Extrusión de material (FDM – Fused Deposition Modelling):** un filamento de un material (principalmente termoplásticos, que pueden contener partículas de otro material) se hace pasar por un conducto que lo calienta por encima de la temperatura de transición vítrea y posteriormente se extruye por un *nozzle*. El plástico extruido se va depositando capa a capa sobre una cama siguiendo el contorno de la pieza.
- **Fotopolimerización (Vat Polymerization) (SLA, DLP):** consiste en el curado capa a capa mediante luz ultravioleta de una piscina de resina fotosensible.
- **Fusión de lecho de polvo (Powder Bed Fusion) (SLS, DMLS, SLM):** en un recipiente se añaden finas capas de polvo de materiales plásticos (SLS) o metálicos (SLM) que se van fundiendo de manera localizada capa a capa mediante un láser u otros métodos como lámparas. Después se debe retirar el polvo sobrante de alrededor de la pieza.

- **Inyección de material (*Material Jetting*):** gotas de material se disparan por un nozzle y son inmediatamente curadas por una luz ultravioleta capa a capa.
- **Inyección de aglutinante (*Binder Jetting*):** se añaden finas capas de polvo sobre las que se dispara selectivamente un aglutinante/pegamento. Tras la impresión, las piezas se limpian de polvo y después se sinterizan (piezas metálicas) o se infiltran con adhesivo de cianoacrilato (plásticos).
- **Deposición directa de energía (*Direct Energy Deposition*) (LENS, LBMD):** conocido como soldadura 3D, consiste en fundir polvo o hilo metálico saliendo por un *nozzle* para irlo depositando capa a capa de forma parecida a un cordón de soldadura con aportación.
- **Laminación de hojas (*Sheet Lamination*) (LOM, UAM):** consiste en laminar hojas de material y cortarlas capa a capa a la forma deseada.

En el apartado de Ideación se analizará cuál de estas tecnologías es más apropiada para este proyecto.

2.3 Conclusiones sobre estado del arte

Los factores comunes que se ven en las empresas existentes de personalización por medio de la fabricación aditiva son:

- Nicho de mercado muy acotado (sólo un tipo de diseño, por ejemplo formas orgánicas o gafas con letras en las patillas)
- Precio elevado en comparación con artículos similares producidos en masa
- Productos por lo general simples. Aquellos complejos están en fase muy primitiva de desarrollo.
- Alta cantidad de opciones de customización para el consumidor
- Fabricación en uno o dos emplazamientos físicos
- Baja implementación de la personalización en masa en España y bajo uso de tecnologías de fabricación flexibles

Esto se debe contrastar con las conclusiones extraídas de los artículos de la *MIT sloan management review*:

- El consumidor a menudo no sabe lo que quiere y le abruma el exceso de opciones.
- Se debe reducir el peso y la complejidad de la decisión
- El proceso de fabricación debe ser flexible y modular

Por otro lado, se ha podido observar que la tecnología de fabricación aditiva está altamente desarrollada, con multitud de tecnologías existentes, aunque posteriormente se analizará si está lo suficientemente desarrollada como para permitir la personalización en masa.

3 Descripción general

3.1 Objetivos

- **Objetivo general del proyecto:** Definir la tecnología y estrategia que permitan a una PYME fabricar productos personalizados en masa de forma rentable apoyándose en habilitadores de la industria 4.0, con especial foco en la fabricación aditiva.
- **Objetivos específicos:**
 - Automatizar en la medida de lo posible el proceso
 - Garantizar la calidad de las piezas y su entrega al cliente correcto
 - Reducir el impacto medioambiental, apoyándose en una estrategia de economía circular
 - Agilizar el *time to market* del producto
 - Reducir el *Lead Time*

3.2 Metodología

Dado el corto periodo de tiempo permitido para este proyecto, se ha decidido utilizar la metodología *Design Thinking*, pues permite llegar a soluciones innovadoras en un corto espacio de tiempo. Se seguirán los 5 pasos clásicos:

1. Empatía: consiste en entender lo que el cliente necesita. En el caso de este proyecto, serán el consumidor y una PYME
2. Definición: definir el alcance y las limitaciones, las necesidades y deseos del cliente
3. Ideación: crear soluciones para los problemas definidos
4. Prototipado
5. Validación

En caso de ser necesario, se realizarán iteraciones de este proceso.

3.3 Descripción de las partes del proyecto

En línea con el uso de metodología *Design Thinking*, este proyecto constará con una primera parte, la empatía, en la que se analizarán las necesidades y los deseos tanto del consumidor final como de la empresa en la cuál se quiere implantar una estrategia de customización en masa. A continuación, se definirán el alcance y las limitaciones, así como otras consideraciones para el proyecto según las conclusiones extraídas al empatizar. Después, se pasará a la fase de ideación, que se dividirá entre los distintos procesos necesarios para la estrategia, es decir, automatización del CAD, del contacto con el cliente y de la fabricación. Las pruebas de concepto, es decir, el prototipado y la validación, se incluirán por razones organizativas del documento en el apartado de ideación, dividiéndose en cada parte de la

estrategia. Se incluirá un presupuesto para la propuesta y, finalmente, se redactarán las conclusiones extraídas.

El alcance de este proyecto incluye el análisis de todas las tecnologías necesarias para automatizar una estrategia de customización en masa. También incluye una prueba de concepto de dichas tecnologías. Esta prueba de concepto se verá limitada por el presupuesto del proyecto que, al ser este teórico y no financiado por una empresa, es reducido. Por ello, las pruebas de concepto se limitarán al uso de pruebas gratuitas o versiones estudiantiles de los distintos software. Deberá quedar acotada también por las tecnologías accesibles, que incluyen, entre otros, una impresora FDM doméstica.

Las tecnologías implicadas en este proyecto incluyen, aunque no están limitadas a, la fabricación aditiva, ERP, Docker, software CAD en la nube, procesamiento en la nube y visión artificial. Todas estas tecnologías deberán estar integradas horizontalmente. Además, se deberán tener en cuenta factores como el Reglamento General de Protección de Datos y la ciberseguridad.

Se espera como resultado de este proyecto desarrollar una estrategia de customización en masa para una empresa y establecer la rentabilidad o no de este modelo de negocio gracias al uso de habilitadores de la industria 4.0.

4 Empatía

4.1 El consumidor

Es importante empezar la estrategia a partir del consumidor, y para esto se analizará lo que dicen los estudios acerca de la opinión del consumidor sobre las iniciativas de personalización en masa. Se apoyará el estudio de mercado en el estudio realizado por Deloitte en 2015 en base a una encuesta a más de 1500 adultos mayores de 16 años (Deloitte, 2015). Según este estudio, el “36% de los encuestados expresó interés en comprar productos o servicios personalizados”. Además, “48% estaban dispuestos a esperar más por el envío de un producto personalizado”. En la Ilustración 10, se pueden ver las categorías en las que más consumidores han comprado productos personalizados en el pasado.

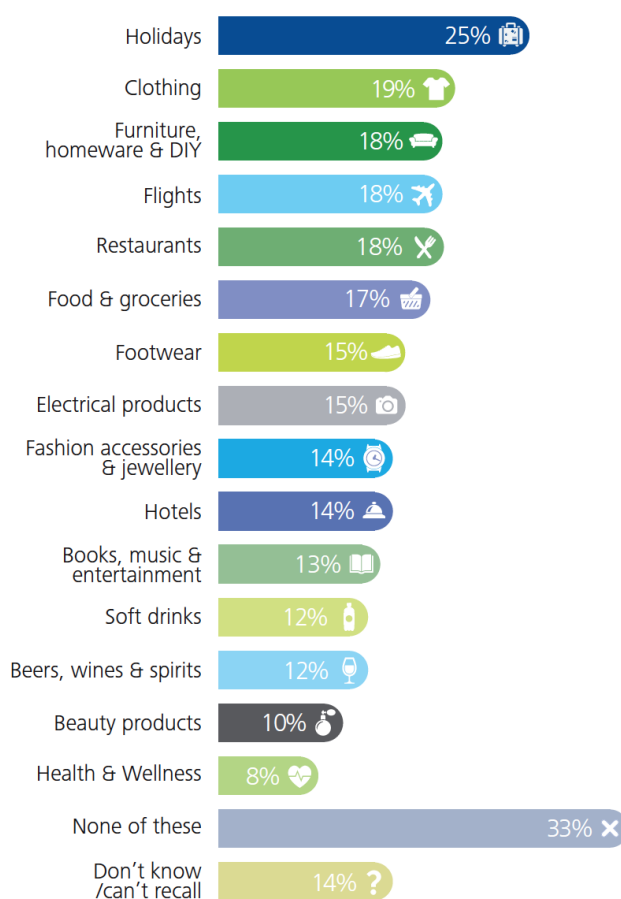


Ilustración 10. Consumidores que han comprado productos personalizados en cada categoría. Fuente: Deloitte (2015)

Se puede ver que las principales categorías relevantes a este proyecto son la ropa, la decoración del hogar, el calzado y los artículos de accesorios y joyería. Además, en la Ilustración 11 se puede apreciar que estas categorías son aquellas en las que el consumidor quiere tener una mayor participación en el proceso de personalización y más hechos a medida.

(*bespoke*) desea los productos. En particular, la joyería y los accesorios son los productos que el consumidor más quiere que estén hechos a medida.

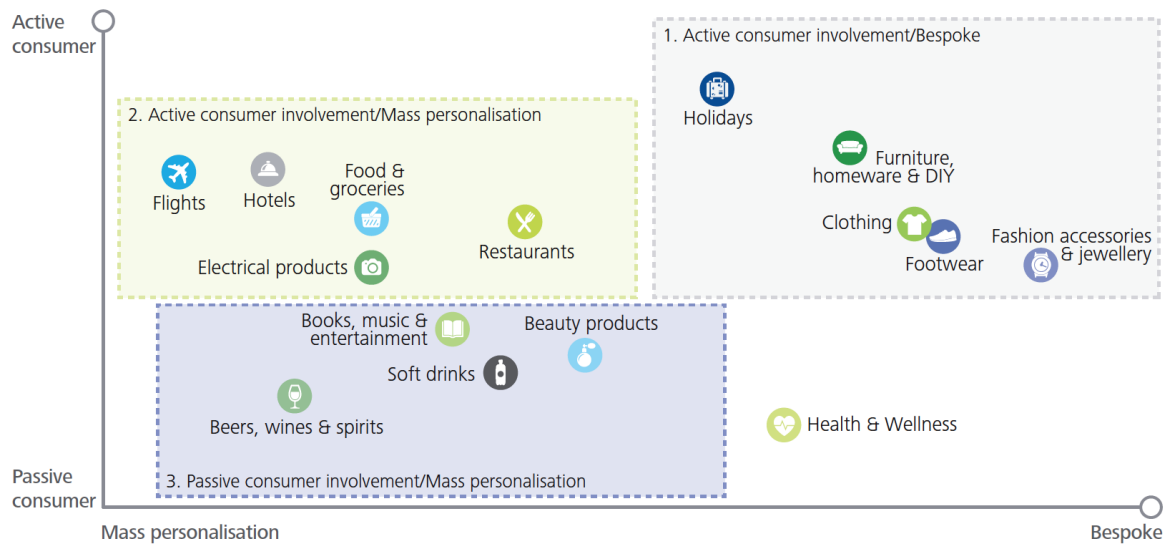


Ilustración 11. Grado de participación del consumidor según la categoría del producto. Fuente: Deloitte (2015)

En cuanto al interés que los consumidores muestran hacia productos personalizados, la Ilustración 12 muestra los porcentajes de interés por categoría de producto y grupo de edad. Se puede ver que entre los 16 y los 39 años es el rango en el que los consumidores expresan mayor interés por personalizar sus productos. Para todas las categorías relevantes se puede ver en este rango de edad un interés de entre el 41% y el 53%.

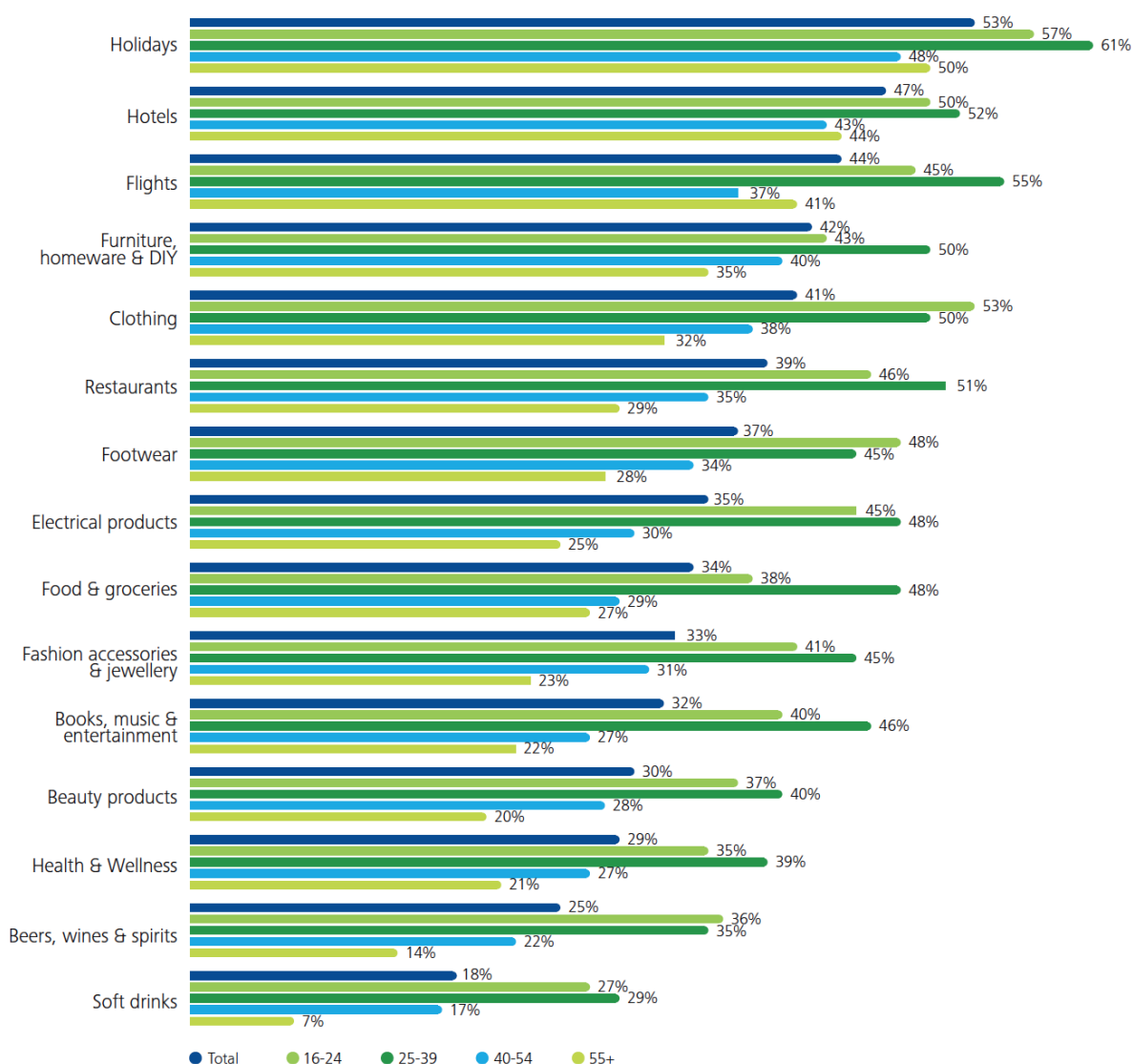


Ilustración 12. Interés en productos personalizados por categoría y grupo de edad. Fuente: Deloitte (2015)

Se elige por tanto la joyería como el tipo de producto alrededor del cual se centrará este proyecto, focalizado en un público objetivo de entre 16 y 39 años.

4.2 La empresa

Según la “Guía del usuario sobre la definición del concepto de PYME” de la Comisión Europea, se considera PYMEs a las empresas con menos de 250 empleados y un volumen de negocio de menos de 50 millones de euros (Tabla 2). En la Tabla 3 se puede ver que el 72,6 % del empleo en España lo generan las PYMEs. Además, entre las PYMEs, el 82% son empresas de menos de 50 empleados (micro y pequeña empresa). Debido a esta alta relevancia, este proyecto se centrará en este tipo de empresas. El objetivo, sin embargo, es crear una solución escalable, que permita a la empresa crecer si el mercado así lo demanda.

Tabla 2. Categorías de PYME según empleados y volumen de negocios

Categoría de empresa	Efectivos: Unidades de trabajo anual (UTA)	Volumen de negocios anual	Balance general anual
Medianas	< 250	≤ 50 millones EUR	≤ 43 millones EUR
Pequeñas	< 50	≤ 10 millones EUR	≤ 10 millones EUR
Microempresas	< 10	≤ 2 millones EUR	≤ 2 millones EUR

Fuente: Guía de la comisión europea

Tabla 3. Distribución del empleo empresarial 2016 (%)

País	Micro (0 a 9)	Pequeña (10-49)	Mediana (50-249)	PYME (0-249)	Grande (más de 250)	Total
España	41,2	18,3	13,1	72,6	27,4	100
EU-28	29,8	20,0	16,8	66,6	33,4	100

Fuente: Estimaciones de la Comisión Europea: Eurostat y DIW Econ

Aunque este proyecto busca comprobar la viabilidad y rentabilidad de la customización en masa utilizando la fabricación aditiva para las PYMEs en general, se considera que no focalizar el estudio en una empresa en particular podría obligar a realizar un estudio demasiado generalista, sin llegar a ninguna conclusión concreta. Es por esto que se focalizará el desarrollo de este proyecto en una empresa relevante.

Tras analizar el estudio de mercado realizado por Deloitte (ver la sección “El consumidor”), y teniendo en cuenta el estado del arte de la fabricación aditiva, se considera que el proyecto debe centrarse en los ámbitos de joyería y accesorios de moda y decoración. Teniendo esto en cuenta, se ha hecho un estudio del mercado existente en España en cuanto a joyería personalizable (véase “Anexo 1”). El modo de personalización se basa esencialmente en la tecnología de grabados, es decir, se ofrece un pequeño espacio en la joya para grabar una palabra corta. Alternativamente, hay algunas que ofrecen un corte por laser del contorno de una palabra o incluso el grabado de una imagen en una pulsera. Ninguna usa la fabricación aditiva.

4.2.1 Singularu

De entre todas las empresas analizadas, destaca una llamada Singularu. Esta empresa nació para comercializar joyas que el consumidor pudiera personalizar (aunque a día de hoy gran parte de su catálogo son joyas no personalizables). Ofrecen joyas estándar por entre 10 y 30€, y sus joyas personalizables rondan los 30-60€ (llegando una a 120€). Está enfocada a mujeres trabajadoras de clase media-alta entre los 25 y 35 años de edad, que además, según el estudio de Deloitte, es el rango de edad con mayor interés por personalizar joyería. Busca ofrecer una imagen informal y transparente, y su eslogan es “Joyas Premium a un precio justo”, algo que justifican afirmando que tienen un menor margen de beneficio con los mismos costes internos, lo cual ofrece una imagen de humildad y honestidad (ver la Ilustración 13) (*Singularu loves you*, (s.f.)).

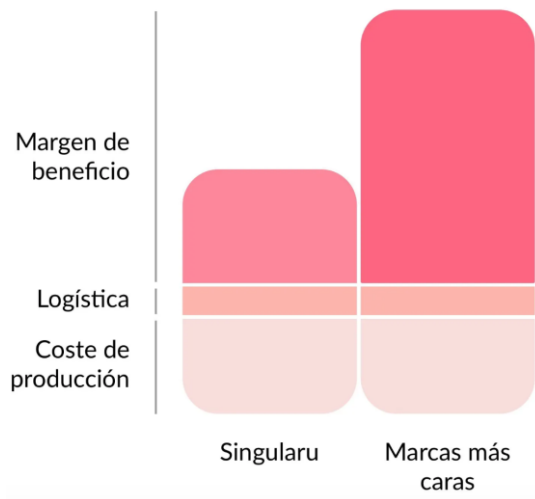


Ilustración 13. Oferta de negocio de Singularu. Fuente: Singularu

Lo particularmente interesante para este proyecto es que Singularu no fabrica en una única ubicación local, sino que tiene una red de “más de 180 proveedores españoles” (*Singularu loves people*, (s.f.)). Esto implica una complicada logística que será de gran relevancia en este proyecto. Por esto, por el nicho de mercado de la empresa y por su rango de precios para joyas estándar, se considera que Singularu es una buena empresa para usar como ejemplo para este proyecto, pues la fabricación aditiva podría hacer que sus joyas personalizables bajaran al mismo rango de precio que las estándar, diferenciándose así de la competencia además de ofreciendo un producto personalizado más allá del mero grabado de nombres.

Singularu empezó en sus orígenes como una empresa que ponía en contacto a clientes con artesanos, una especie de *marketplace* en el que cobraban una comisión por las transacciones. Al principio del todo, trataban con todo tipo de productos, incluyendo muebles grandes, pero pronto se dieron cuenta de que el mercado en el que más dinero hacían era la joyería. Con esto en mente, decidieron sacar un catálogo propio en base a las necesidades

de los clientes, es decir, analizaron datos de tendencias y a partir de ahí se crearon los productos.

Cuando iniciaron su catálogo propio, producían todo a demanda, sin ningún tipo de stock, y fue por esto que desarrollaron la red de distribuidores que les permite tener tanta agilidad. A día de hoy, cuando sacan un producto nuevo fabrican primero una serie muy corta y lo lanzan al mercado. A los tres o cuatro días, y viendo el éxito (o no) que tenga ese producto, deciden si pedir otra tanda de producción más larga o simplemente vender hasta terminar con las existencias. Es por esto que necesitan desarrollar una relación tan estrecha con sus proveedores (*Ecommerce Tour Valencia 19 - Case Study: Singularu*, 2019).

Singularu abandonó el modelo de fabricación a demanda (salvo para las piezas personalizadas), porque el *lead time* que les obligaba a ofrecer no era competitivo con otras grandes empresas de venta online. El cliente no podía entender tener que esperar para una pieza estándar, pero sí era justificable para una personalizada. El *lead time* que ofrecen para las joyas estándar es de 1-2 días laborables, pero de 7-9 días laborables para joyas personalizadas (este *lead time* no incluye el tiempo de envío, sólo el de preparación del pedido).

El objetivo de Singularu como empresa no es crear tendencia, sino simplemente hacer accesible la moda a las clientas a partir de sus gustos (se podría equiparar al modelo *Inditex*). Además, su principal foco está en la fidelización, más allá de la captación (#65 - *Singularu: Reinventando la joyería con el modelo Fast Fashion*, 2018).

La empresa Singularu tiene las siguientes características:

- Empresa fundada en Abril de 2015
- Comercio principalmente online en Europa (utilizado para recoger datos de clientes)
- Venta online habilitada por la plataforma Shopify
- 4 tiendas físicas en España, 16 puntos de venta en otras tiendas
- Empleados: alrededor de 30 personas
- Modelo *fast fashion*: renovación constante de su oferta a partir del análisis de tendencias. “Sólo en 2017, lanzaron al mercado más de 150 modelos nuevos.” (Pastor, E., 2019).
- Cifras de 2018:
 - 4 millones de euros facturados (vs 1.6 millones € en 2017)
 - 200.000 joyas vendidas (Pastor, E., 2019)
 - Pequeña empresa
 - Capital social entre 3.500 y 10.000 € (Axesor (s.f.))

- **Misión:** “Joyas Premium a un precio justo”
- **Visión:**
 - 90 puntos de venta físicos para el final de 2021 (incluyendo franquicias, *shop in a shop*, etc)
 - Instaurar un ERP
 - Cerrar 2019 con ingresos de 7 millones € (crecimiento año a año) (Pastor, E., 2019)

Esta empresa, como se ha mencionado, tiene ciertos factores que les diferencian de la competencia. Sin embargo, el nivel de personalización que ofrecen es el mismo o incluso algo menor que el de la competencia. Para poder diferenciarse verdaderamente en este ámbito, deben buscar formas alternativas de ofrecer la personalización, y eso es lo que este proyecto buscará.

5 Definición

Como se ha mencionado, Singularu no busca diferenciarse por la “moda” de sus productos, es decir, no busca iniciar tendencias de moda. Sin embargo, si busca ofrecer productos diferenciales en cuanto a relación calidad-precio, así como ser los mejores en los ámbitos que rodean al diseño del producto (trato a las clientas, logística, estrategia de marketing y descuentos, etc). Es por esto que la estrategia de personalización no busca diferenciarse en cuanto al diseño del producto, si no en cuanto a lo bien que se adapta este a su comprador.

Cabe destacar que Singularu empezó teniendo una estrategia de personalización mucho más agresiva. En sus inicios no sólo se podía personalizar el nombre o mensaje de la joya, sino que se podían cambiar muchos otros aspectos como el color, la piedra, etc. Esta estrategia no funcionó porque el cliente no entendía esto como personalización y no estaba dispuesto a pagar por ello ni a esperar el lead time adicional. Se ve que los aspectos que cambian en este tipo de “personalización” no ofrecen un atributo diferencial. Es fácil encontrar un catálogo de joyas que ofrece la misma joya en distintos colores. Han pasado ya los días de Ford y su coche monocromático. Un cambio de color ya no es personalización, es algo que se puede fabricar en masa previamente sin necesidad de input del cliente.

Analizando el catálogo de joyas de Singularu, se observa 3 “colores”: oro, oro rosa y plata. No se caracterizan por joyas de colores variados, esta no es su estética. Además, sus joyas no son recargadas ni con excesivos adornos. Cabe destacar que su catálogo se adapta a las tendencias de moda, por lo que quizás en un futuro esto deje de ser el caso, pero a día de hoy está claro que lo que busca su público objetivo es este tipo de joya. Esto es algo relevante de cara a la solución que se proponga, pues indicará el grado y los ámbitos de personalización requeridos. En general, las joyas más baratas o con más superficie son de latón con baños de 1 micra de rodio (color plata), oro (18k) u oro rosa (18k). Las joyas finas o ligeramente más caras son de plata de ley 925 con baños de 3 micras de rodio, oro (18k) u oro rosa (18k).

Teniendo todo lo anterior en cuenta, el **reto** es el siguiente:

- Aumentar la variedad en la personalización de los productos

Se planea resolver los **problemas** actuales:

- Alta competitividad y poca diferenciación con la competencia en el ámbito de producto (incluyendo la parte de personalización)
- *Lead time* considerablemente más largo para productos personalizados
- Necesidad de testear el éxito de los productos con el menor riesgo posible
- Coste de piezas personalizadas más elevado que el de las piezas estándar

- Dificultad para incrementar la cuota de mercado

El alcance del proyecto es el siguiente:

- Automatización de la creación del fichero 3D personalizado y su guardado en el formato adecuado
- Facilidad de personalización por parte del usuario
- Comunicación automática al proveedor del fichero
- Definición de los métodos para diferenciar las piezas personalizadas y garantizar su correcta entrega
- Reducción del impacto medioambiental de los productos

Limitaciones:

- Como se ha mencionado, este proyecto no está esponsorizado por Singularu por lo que no se tienen acceso a muchos datos particulares de la empresa. Los datos que se utilizan se han conseguido a través de entrevistas a miembros de Singularu o, en su defecto, artículos sobre esta empresa.
- No se dispone de presupuesto para las pruebas de concepto, se deben realizar con software de prueba. Aun así, se debe tener en cuenta en la elección el presupuesto que tendría Singularu para evaluar si estas tecnologías serían rentables
- Se debe mantener la personalización dentro de aspectos útiles para el consumidor

Los objetivos del reto son los mencionados previamente como objetivos específicos (ver Descripción general) en el siguiente orden de prioridad para Singularu:

1. Calidad y entrega correcta
2. Automatización y reducción de costes
3. *Time to market*
4. *Lead Time*
5. Reducción del impacto medioambiental

Se considera que Singularu tiene un nivel de madurez digital moderado, en concreto un nivel uno según la escala proporcionada por la Herramienta de Autodiagnóstico Digital Avanzada (HADA) (ver Ilustración 14), es decir, un nivel consciente. Aunque no tiene ERP (usa Shopify para el ecommerce) y produce sus productos a mano, utilizan el análisis de datos para inspirar sus diseños y usan series cortas iniciales a modo de testeo para saber si continuar produciendo o “matar” un producto. Esto implica que Singularu está “involucrada en la Industria 4.0 a través de (...) inversiones en algún área” (HADA, (s.f.)). Tiene proveedores

distribuidos, aunque su gestión no está automatizada, por lo que “La integración de sistemas y el intercambio de información son limitados” (HADA (s.f.)).

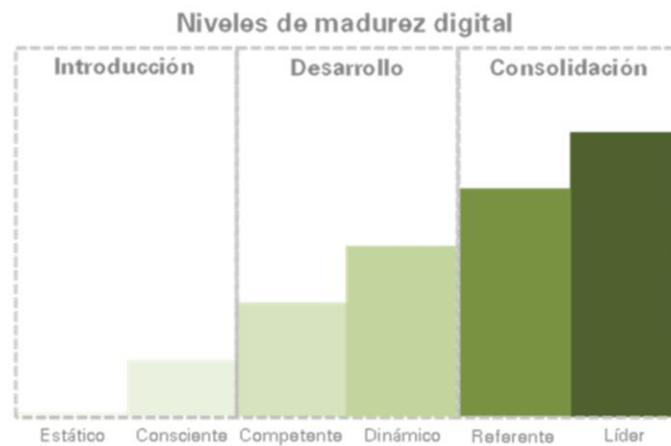


Ilustración 14. Niveles de madurez digital. Fuente: Ministerio de economía, industria y competitividad

6 Ideación

6.1 El modelo 3D

Lo primero que es esencial para permitir la fabricación en masa es tener un modelo 3D que se actualice automáticamente con las peticiones de los clientes y se guarde en un formato compatible con los software de preparación de piezas para fabricación aditiva. Se recuerda que en el análisis del estado del arte se mencionó que ciertas empresas ya tenían colaboraciones con Shapeways para fabricar piezas impresas en 3D y personalizables. La forma en que estas empresas consiguen modelos CAD personalizables es por medio de la programación. Se diseña por medio de funciones y se programa a bajo nivel el modelo CAD para introducir variables que toman los valores que el cliente decida. Esto puede explicar la poca variabilidad en cuanto a tipo de modelo que ofrecen estas compañías, pues cada tipo de producto distinto requiere una programación independiente.

Hay otro tipo de acercamiento a un modelo personalizable que no sólo puede ser más sencillo, sino que además es más adecuado para el nivel de personalización que los estudios indican que el consumidor busca. Esto se basa en lo que en el programa CAD *Solidworks* se denominan *design tables* o tablas de diseño. Esto consiste en enlazar determinados parámetros de un modelo CAD paramétrico a un Excel a partir del cual, introduciendo filas nuevas, se pueden conseguir distintas configuraciones de un mismo archivo CAD. Esto simplificaría inmensamente la creación del modelo, ya que la interfaz usando tablas de diseño es mucho más amigable y tiene unos requerimientos de formación del usuario mucho menores que una programación a bajo nivel. Además, permitiría crear un catálogo más variado, pues no se tiene que programar cada modelo independientemente. Sin embargo, al tratarse de una PYME, no es recomendable usar un software como *Solidworks* o *Catia*, que tienen ambos (siendo del mismo desarrollador, *Dassault Systèmes*) esta funcionalidad. Las licencias de *Solidworks* empiezan en 6,600€ al año (estándar) (Cimworks, (s.f.)) y las de *Catia* 4,500€ anuales (3DSMAN, (s.f.)). Esto no es asumible para una PYME, sobre todo si tuviera que comprar licencia para más de un ordenador.

Por parte de otra empresa proveedora de servicios CAD, *Autodesk*, se encuentra el software *Inventor*, que también integra la funcionalidad de las tablas de diseño. El precio de la licencia anual se reduce algo, a 2,613€ (*Inventor*, (s.f.)). Sin embargo, se encuentra otro software que sigue un concepto totalmente distinto al de los anteriores, un concepto que se acerca más a lo que busca la industria 4.0: CAD colaborativo. Este software es *Fusion 360*, que integra en una misma plataforma basada en la nube CAD, CAE y CAM. Este concepto de integración horizontal y compatibilidad con la nube es la tendencia de la industria 4.0. Además, es

especialmente adecuado para PYMEs porque es gratis para empresas de menos de 10 empleados y tiene un coste de 502€ al año para empresas mayores que esto (como es el caso de Singularu) (*Fusion 360*, (s.f.)). Además, este software tiene en cuenta la ciberseguridad, encriptando todas sus comunicaciones con la nube y requiriendo un usuario autenticado cuyas credenciales se guardan como un *salted hash*.^(b) Además, todos los datos guardados en la nube se guardan encriptados usando el *Advanced Encryption Standard* de 256 bits (Autodesk® Fusion 360 Security Whitepaper, 2018).

Fusion 360 no tiene incorporada la funcionalidad de las tablas de diseño. Sin embargo, lo que sí tiene es una comunidad de desarrolladores colaborativa muy amplia. Así, en *Github*, una enorme plataforma de desarrollo de software, se encuentra un *Add-in* llamado *Fusion Sheeter* para linkar un modelo de *Fusion 360* con *Google Sheets*. Este *Add-in* está bajo la licencia MIT, que es completamente open source, permitida para uso comercial sin ningún tipo de restricción y con permiso para ser editada. En concreto, el desarrollador de este *Add-in* (Rainsberry) es un trabajador de Autodesk.

Por todo lo anterior, se considera que *Fusion 360* es el programa más apropiado para desarrollar este proyecto.

6.1.1 POC del CAD

Como se ha indicado, se va a realizar una prueba de concepto, que se redactará seccionada en cada apartado de la solución. Se usa la versión de *Fusion 360* gratuita para estudiantes en un equipo Windows. Tras descargarla, se debe añadir el *Add-in* de *Google Sheets* para utilizarlo como tabla de parámetros. Para ello, se debe descargar la carpeta *master* (Rainsberry, P., 2019) y a continuación se debe añadir dicha carpeta en %AppData%\Autodesk\Autodesk Fusion 360\API\AddIns (la carpeta AppData suele estar en la carpeta de usuario). Se debe hacer que dicha carpeta tenga el nombre del *Add-in*, en este caso se elimina “master” del nombre para que sea únicamente *FusionSheeter*.

Para iniciar el *Add-in* en *Fusion 360*, se debe ir a *Addins* → *Scripts and Addins* (ver Ilustración 15). Después, en la pestaña *Addins*, se selecciona *FusionSheeter* y se activa “run at startup” y despues “Run”.

^b Resumen criptográfico aleatorizado

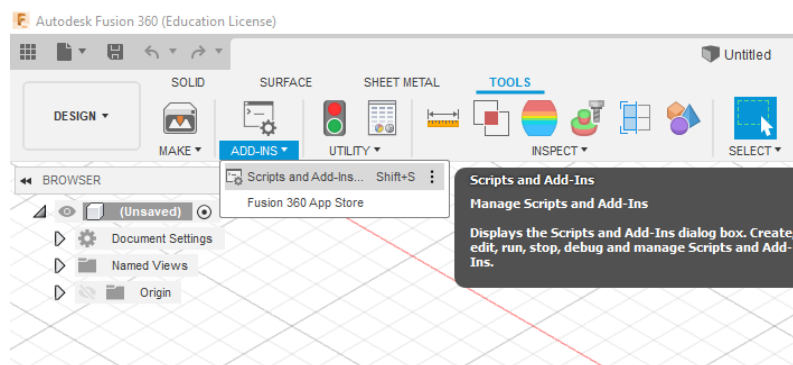


Ilustración 15. Pestaña para introducir el Add-in. Fuente: elaboración propia

Tras estos pasos, aparecerá el Add-in en la pestaña tools:

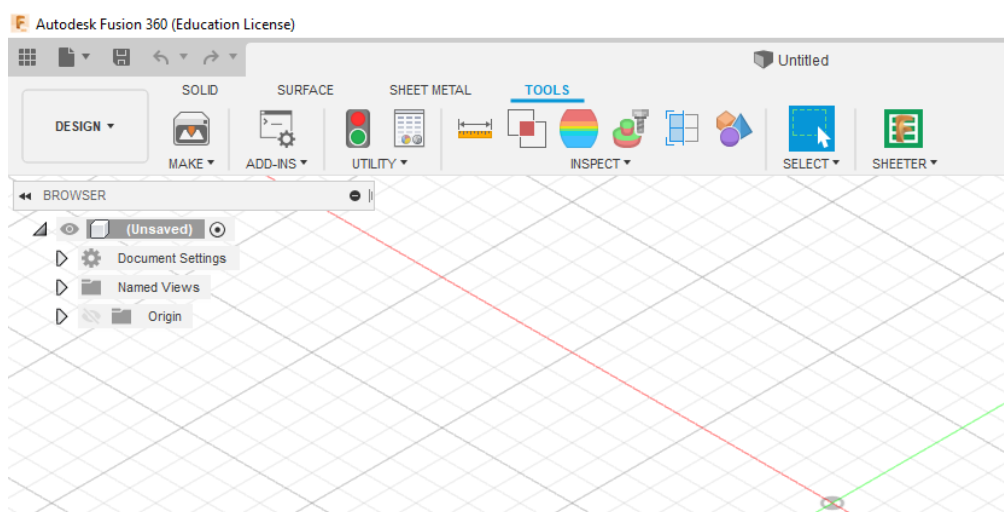


Ilustración 16. FusionSheeter. Fuente: elaboración propia

Una vez se tiene el *Add-in* configurado, se puede empezar a diseñar usando los *user parameters*. Se diseñará un anillo configurable a partir de los parámetros que se ven en la Ilustración 17.

Parameters					
Parameter	Name	Unit	Expression	Value	Comments
Favorites					
User Parameters					
User Parameter	diameter	mm	20 mm	20.00	finger width
User Parameter	height	mm	15 mm	15.00	ring height
User Parameter	extrusionthickness	mm	2 mm	2.00	section diameter
User Parameter	numberrevolutions		5	5	revolutions of spiral
User Parameter	rectanglewidth	mm	2 mm	2.00	width of hole on ring2
User Parameter	repetition		5	5	number of repetitions pattern
User Parameter	trianglertip	mm	2 mm	2.00	tip of rectangle
Model Parameters					
ring v1					

Ilustración 17. Parámetros de diseño para los anillos. Fuente: elaboración propia

En el mismo archivo, se tienen dos tipos de anillo como cuerpos separados, como se puede ver en la Ilustración 18 y la Ilustración 19.

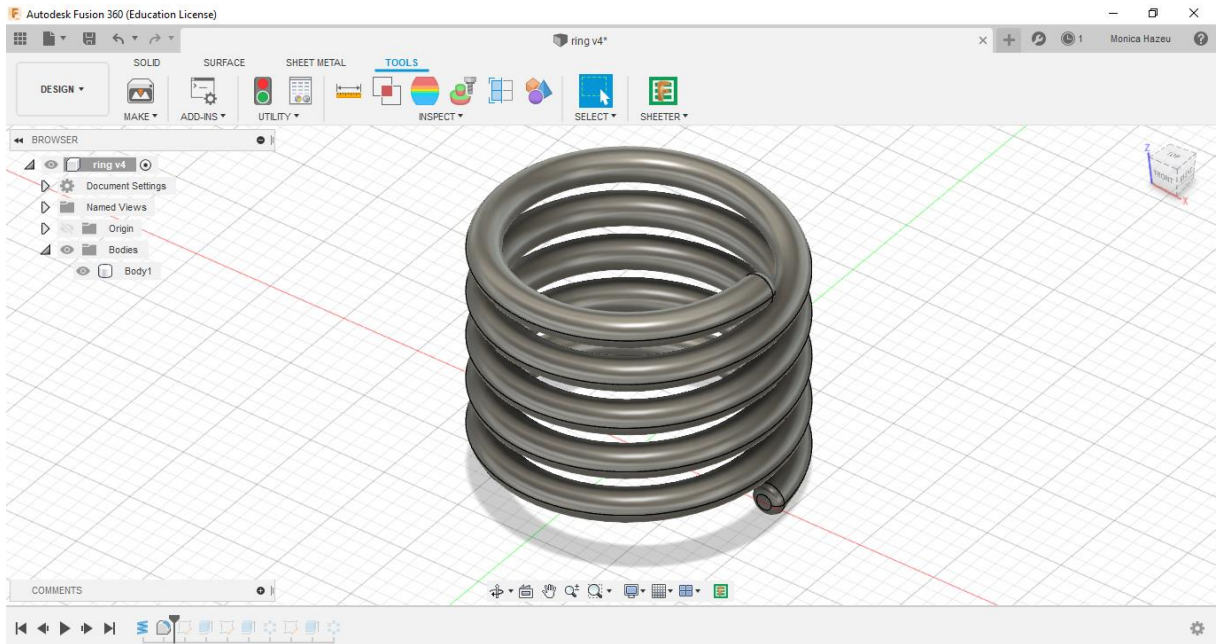


Ilustración 18. Anillo diseño 1. Fuente: elaboración propia

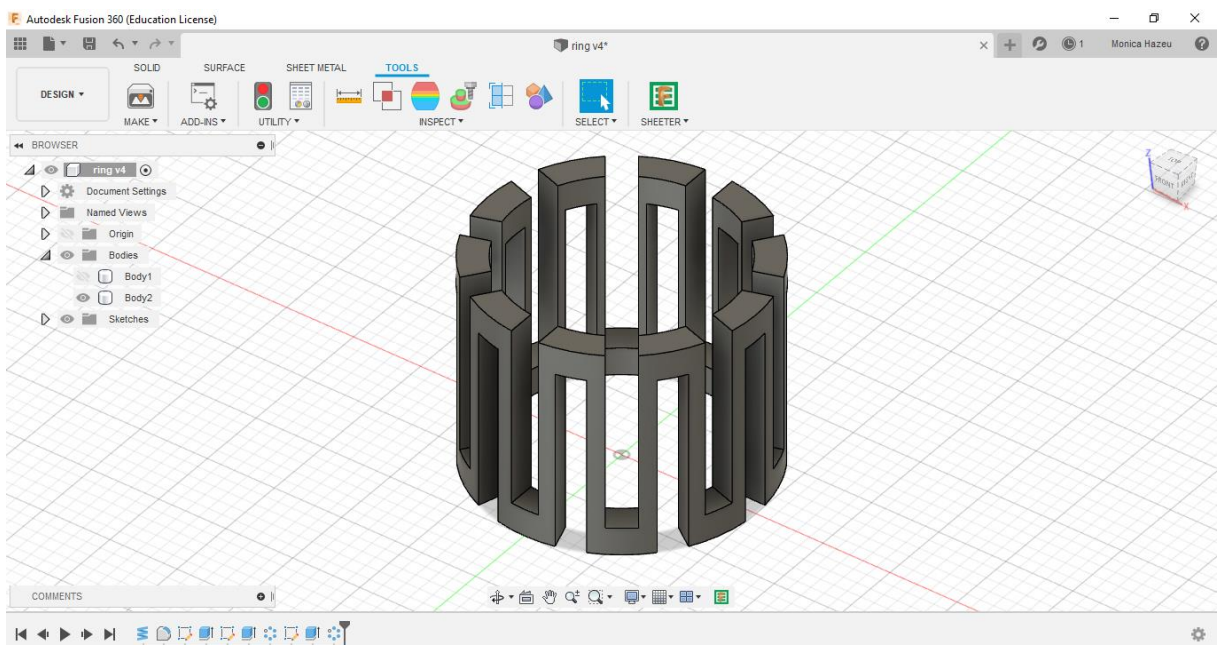
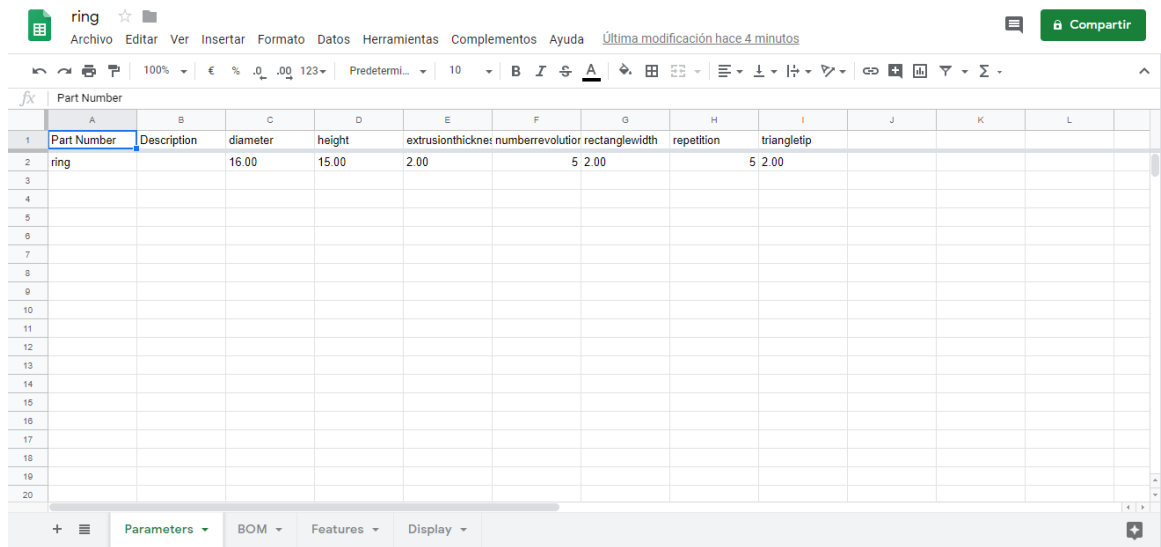


Ilustración 19. Anillo diseño 2. Fuente: elaboración propia

Diseñar usando parámetros de usuario permite que a la hora de modelar sea más fácil cambiar las dimensiones, pues se pueden cambiar desde una tabla, pero sobre todo permite generar una tabla de diseño que contenga sólo los parámetros que se vayan a querer cambiar. Esto se puede hacer usando el *Add-in*. Se puede ver la tabla de diseño creada a partir de estos parámetros en la Ilustración 20 (parámetros de diseño, es decir, dimensiones) y la Ilustración

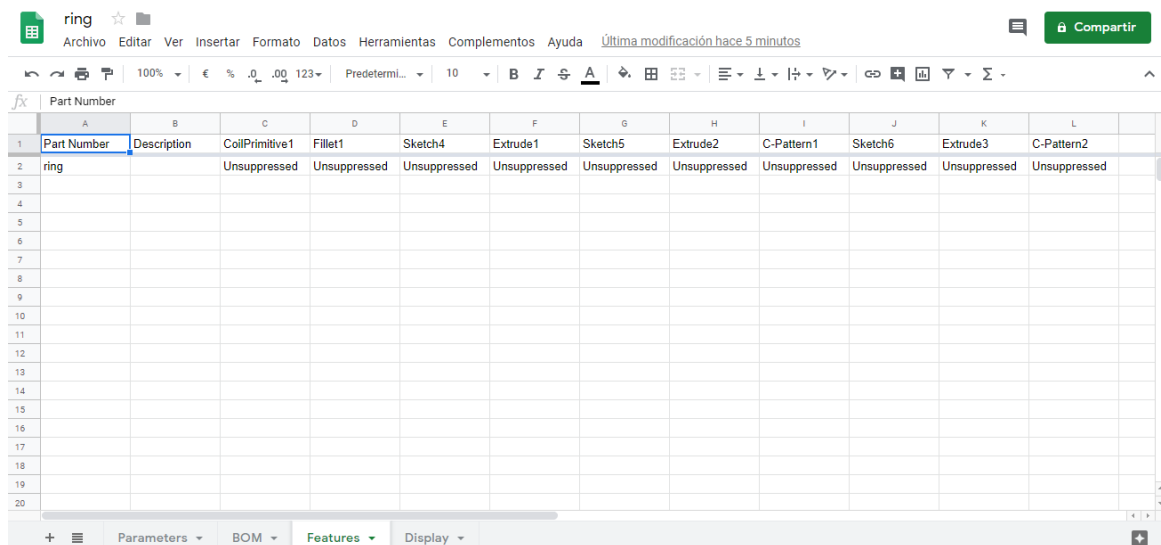
21 (*features*, es decir, operaciones como extrusión o redondeo que se pueden activar (*Unsuppressed*) o desactivar (*Suppressed*)).



The screenshot shows a SolidWorks interface with a table of design parameters. The table has columns for Part Number, Description, diameter, height, extrusion thickness, number of revolutions, rectangle width, repetition, and triangle tip. The first row shows a 'ring' with a diameter of 16.00, height of 15.00, extrusion thickness of 2.00, 5 revolutions, rectangle width of 2.00, and triangle tip of 5.00.

Part Number	Description	diameter	height	extrusion thickness	number of revolutions	rectangle width	repetition	triangle tip
ring		16.00	15.00	2.00	5	2.00	5	2.00

Ilustración 20. Tabla de diseño, parámetros. Fuente: elaboración propia

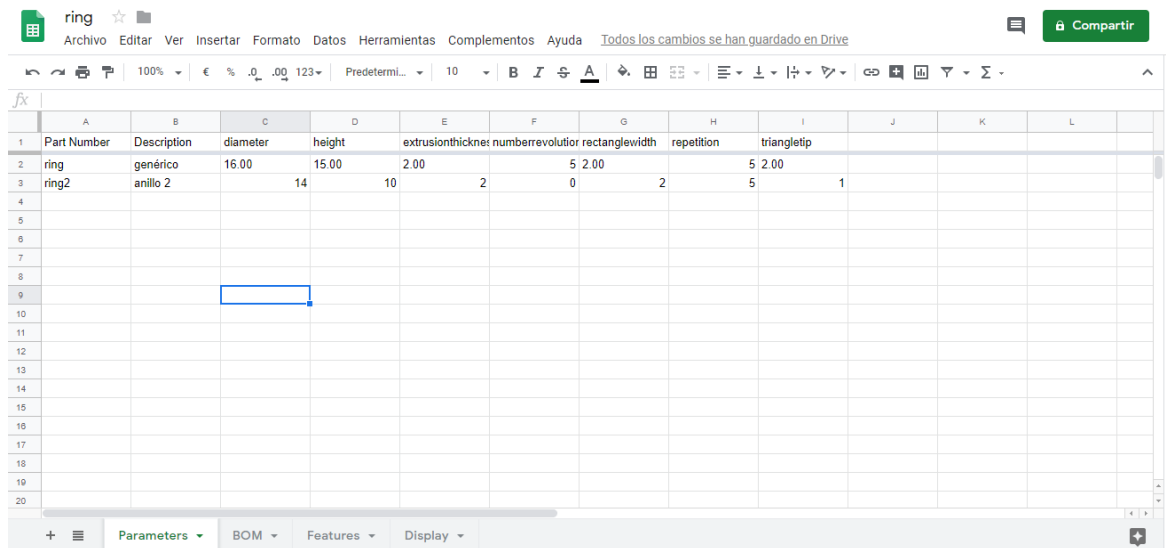


The screenshot shows a SolidWorks interface with a table of design features. The table has columns for Part Number, Description, Coil Primitive, Fillet, Sketch, Extrude, Sketch, Extrude, C-Pattern, Sketch, Extrude, and C-Pattern. The first row shows a 'ring' with all features set to 'Unsuppressed'.

Part Number	Description	Coil Primitive	Fillet	Sketch	Extrude	Sketch	Extrude	C-Pattern	Sketch	Extrude	C-Pattern
ring		Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed

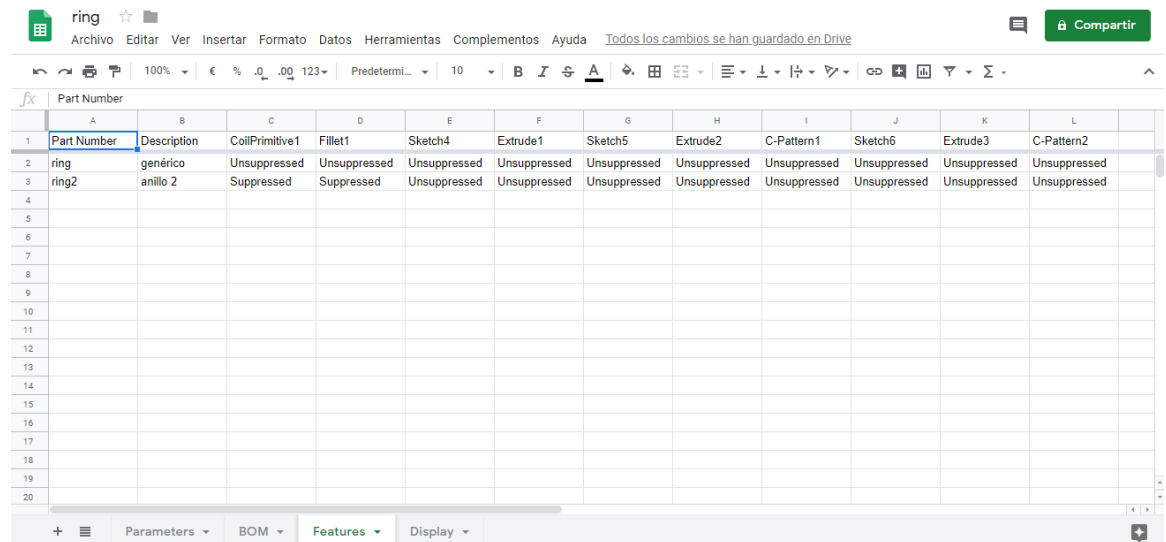
Ilustración 21. Tabla de diseño, operaciones (*features*) . Fuente: elaboración propia

Se puede crear una nueva fila en la tabla para que automáticamente se cree otra configuración del modelo. Por ejemplo, si se quiere tener sólo el segundo anillo y con líneas triangulares en vez de rectangulares, se podría añadir los valores que se ven en la Ilustración 22 y la Ilustración 23.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Part Number	Description	diameter	height	extrusionthickness	numberrevolution	rectanglewidth	repetition	triangle tip			
2	ring	genérico	16.00	15.00	2.00	5	2.00	5	2.00			
3	ring2	anillo 2	14	10	2	0	2	5	1			
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Ilustración 22. Segunda configuración del anillo, parámetros. Fuente: elaboración propia



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Part Number	Description	CoilPrimitive1	Fillet1	Sketch4	Extrude1	Sketch5	Extrude2	C-Pattern1	Sketch6	Extrude3	C-Pattern2
2	ring	genérico	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed
3	ring2	anillo 2	Suppressed	Suppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed	Unsuppressed
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Ilustración 23. Segunda configuración del anillo, features. Fuente: elaboración propia

El resultado de estos valores se puede ver en la Ilustración 24. Como se ve, se ha eliminado uno de los *bodies* y ha cambiado el diseño del anillo para ajustarse a las nuevas medidas.

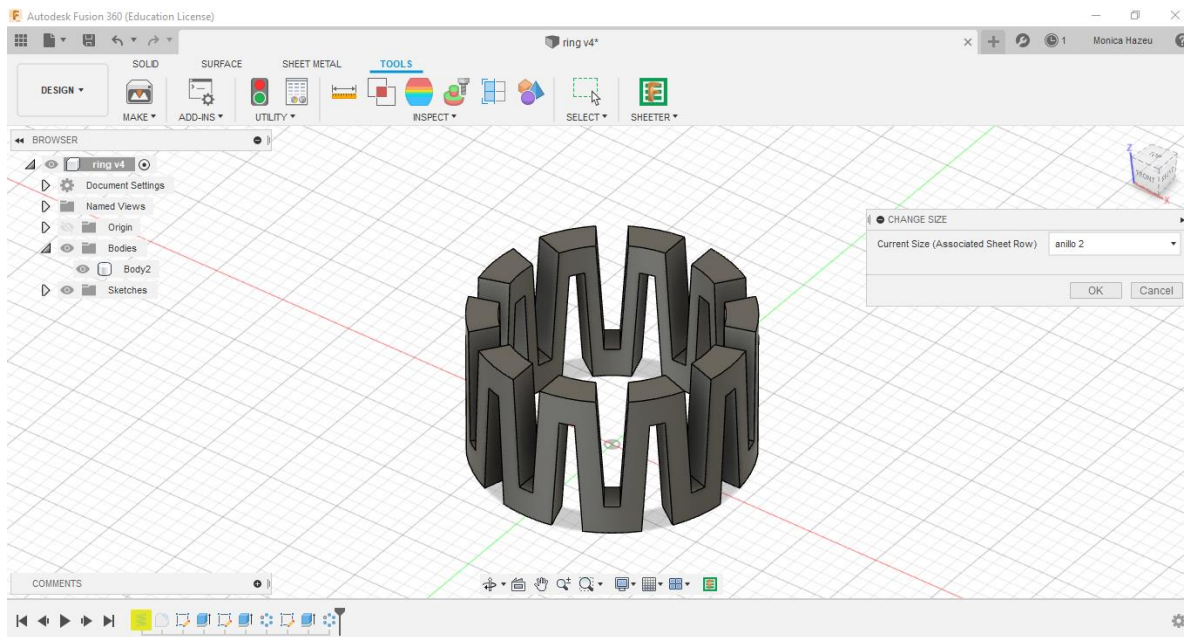


Ilustración 24. Configuración dos del anillo. Fuente: elaboración propia

Para realizar una prueba de cómo se traducen las medidas a la realidad, se va a imprimir un anillo muy sencillo en una impresora FDM (Prusa i3 Hephastos) en PLA. La configuración es el segundo anillo con todas las operaciones de cortes suprimidas y con una menor altura de tal forma que sólo es una tira fina. Se utiliza el programa *Ultimaker Cura* como slicer para generar el código G. Se puede ver una captura de esto en la Ilustración 25.

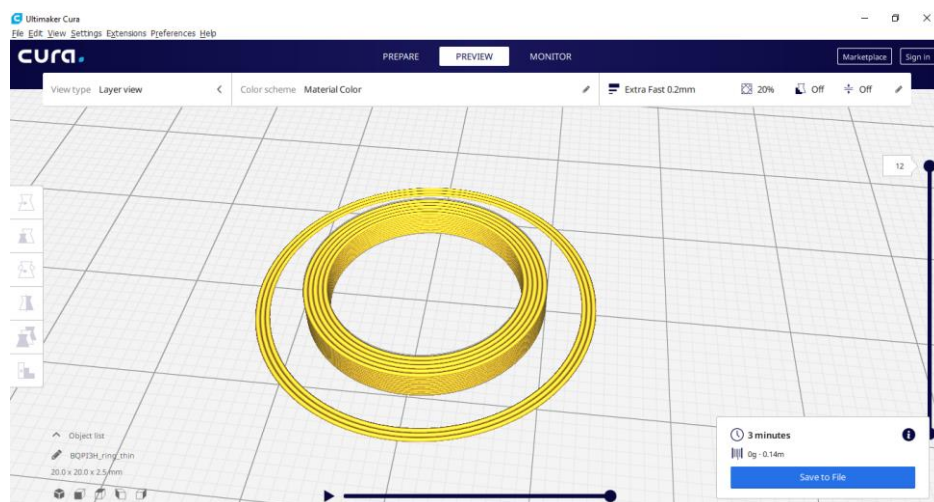


Ilustración 25. Anillo fino en CURA. Fuente: elaboración propia

Tras comprobar que las dimensiones deben ajustarse por no ser adecuadas, se modifican en la tabla de Google Sheets y se hacen otras dos iteraciones de impresión en FDM, una del anillo fino y, tras comprobar que las dimensiones son correctas, otra del anillo de la Ilustración 24. Se pueden ver todas las iteraciones en la Ilustración 26, la Ilustración 27 y la Ilustración 28.



Ilustración 26. Impresión FDM, iteración 1. Fuente: elaboración propia



Ilustración 27. Impresión FDM, iteración 2. Fuente: elaboración propia



Ilustración 28. Impresión FDM, anillo 2. Fuente: elaboración propia

Una vez que se comprueba que el modelo y su tabla de diseño funcionan y las medidas son adecuadas, se debe encontrar la forma de convertir el fichero de Fusion 360 a un formato compatible con los software de impresión 3D. Se usará como formato STL porque es el tipo de archivo para este fin más antiguo, más comúnmente utilizado y para el que más soporte hay. Además, es un formato poco pesado (Chakravorty, D., 2019).

El Add-in FusionSheeter tiene incluida una función de exportar todas las configuraciones del modelo a varios formatos. Sin embargo, estos formatos no incluyen STL (ni ningún otro formato compatible). Al entrar en el código del Add-in, se ve que esta opción sí está incluida, pero que la opción del desplegable está comentada para que el usuario no pueda usarla:

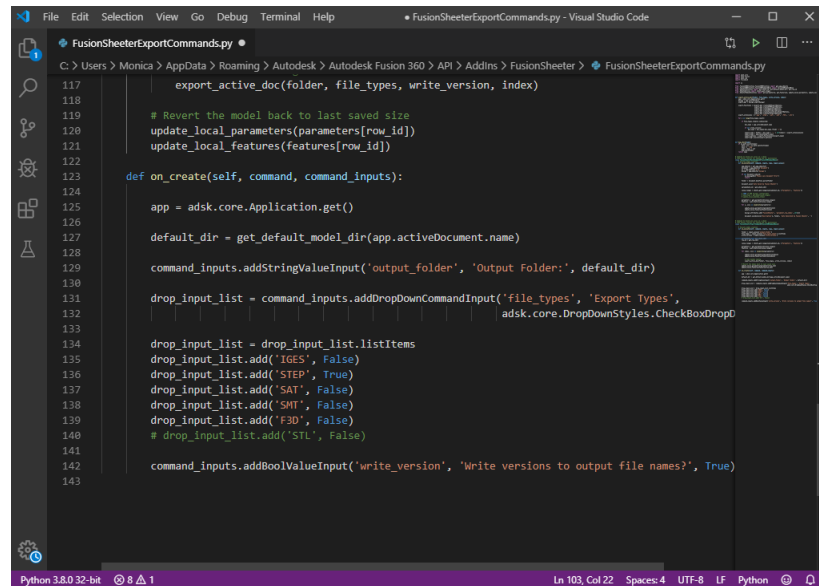


Ilustración 29. Código del Add-in referente a la exportación. Fuente: elaboración propia

Al “descomentar” esta línea y usar esta función, Fusion 360 da un *traceback*, es decir, no funciona. Buscando apoyo online acerca de este problema, se encuentran dos *scripts* que podrían servir de base para conseguir esta función. Uno de ellos es el *script* de Brian Ekins para guardar un documento varias veces como STL alterando sólo dos dimensiones (Autodesk, 2017). Sin embargo, el código de base que utiliza Ekins es el mismo que el de FusionSheeter, las funciones son las mismas.

El otro código que se encuentra es de Hans Kellner en github^(c). Permite usar un parámetro de usuario para generar varias versiones de un modelo que se exporta como STL. Se hace una prueba inicial con un único parámetro y, aunque la conversión a STL se lleva a cabo, el fichero resultante no tiene nada que ver con la pieza original, está totalmente corrupto.

Estos fallos en la conversión a STL se unen a que, al hacer una prueba manual para convertir una configuración del anillo en STL, esta conversión es extremadamente lenta. Seguramente esta sea la razón por la que FusionSheeter da *traceback* cuando se intenta realizar la conversión, puesto que el tiempo de espera entre ficheros es muy largo. De igual manera, no es una manera eficiente de convertir un lote de ficheros, sobretodo si se quiere un modelo escalable. Es por esto que se ha decidido optar por usar Fusion 360 para convertir los archivos a un sólido *.step* usando el Add-in FusionSheeter, pues este programa puede realizar esta conversión rápidamente. Después, se usa un programa especializado en conversión de ficheros para convertir el *.step* a *.stl*. Así, se encuentra el programa VariCAD Viewer, un programa gratuito que permite convertir ficheros en lote entre varios formatos, entre ellos de *step* a *stl*. La conversión es tan sencilla como hacer click en “Batch File Conversion”. Sale una

^c Plataforma para alojar y desarrollar proyectos de software

pantalla en la que se pueden seleccionar los ficheros que se quieren convertir y la carpeta donde se quieren guardar, como se ve en la Ilustración 30. Al seleccionar conversión de step a stl, la conversión para los 6 ficheros (tres anillos duplicados) que se muestran tarda dos o tres segundos (versus tres minutos para la conversión de un único fichero en Fusion 360). En la Ilustración 31 se puede apreciar que la conversión se ha realizado con total éxito, la geometría de los tres anillos es la correcta.

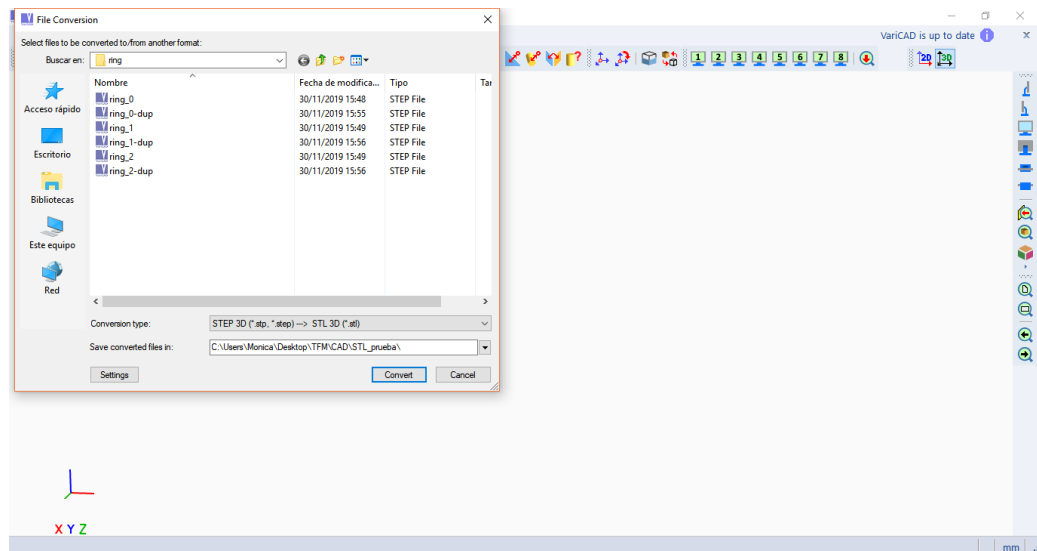


Ilustración 30. VariCAD Viewer. Fuente: elaboración propia

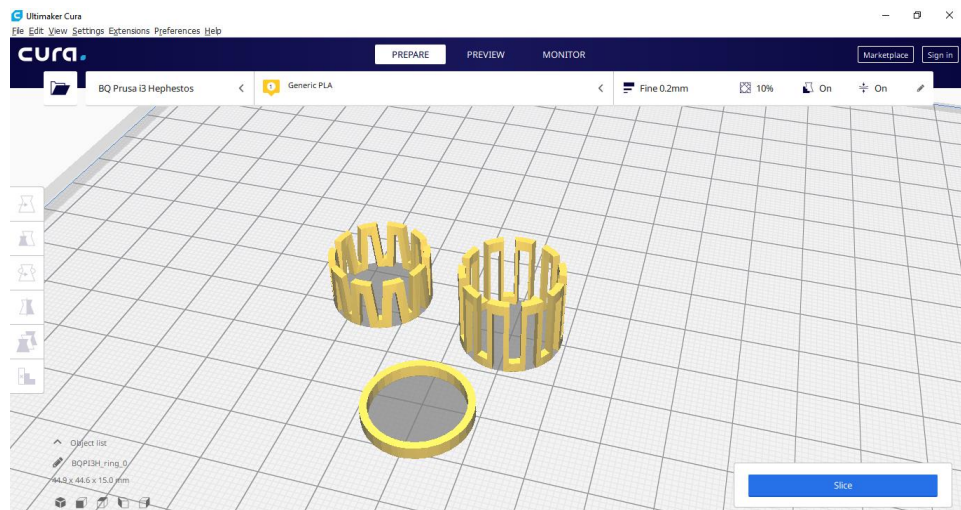


Ilustración 31. Tres versiones del anillo convertidas a stl por VariCAD. Fuente: elaboración propia

Para automatizar este proceso, se puede programar el ordenador para que realice las tareas sin intervención humana. Se considera que no es necesario el procesamiento en *streaming*, pues sería una carga computacional innecesaria para las velocidades de fabricación. En su lugar, se puede optar por una conversión por lotes, convirtiendo un lote de ficheros cada hora. Ese lote de ficheros serán los pedidos que hayan realizado los clientes en la última hora.

Para lograr esta conversión, se podría tener un ordenador encendido todo el rato, loggeado y funcionando. Sin embargo, se considera más productivo usar una máquina virtual en la nube para realizar todo el procesamiento, que se puede comunicar directamente con las Google Sheets también online. Usar una máquina virtual permite escalabilidad y fiabilidad frente a un ordenador físico. Además, evita costes ocultos de electricidad y garantiza el pago por uso. Es más accesible, tiene un coste de implantación mínimo y evita inversiones en hardware. La realidad es que sólo hará falta realizar la conversión mientras dure la jornada laboral del proveedor, ya que no servirá de nada convertir archivos las 24 horas del día si el fabricante no los va a ver hasta la jornada siguiente. Por esto es más adecuado usar una máquina virtual en la nube.

Se encuentran tres principales proveedores de máquinas virtuales: Microsoft Azure, Google CE (Compute Engine) y AWS EC2 (Amazon Web Services Elastic Compute Cloud). Estos tres sistemas son muy competentes y muy parecidos, por lo que la decisión se tomará en función del precio y de lo bien que se ajuste la máquina virtual a las necesidades particulares.

Los requerimientos del sistema para correr Fusion 360 son los siguientes:

- Sistema operativo MAC o Windows
- Procesador de 64 bits
- 3GB o más de RAM
- Espacio mínimo de disco de 2,5 GB

Partiendo de estos requerimientos, y teniendo en cuenta 8 horas de uso por 5 días a la semana, se selecciona la máquina virtual más adecuada en cada una de las plataformas, seleccionando el servidor europeo en el país con mayor porcentaje de uso de renovables disponible (ver sección Sostenibilidad y economía circular). Se puede ver una comparación completa en el anexo 9.2. En resumen, los precios serían:

- AWS EC2: 2vCPU, 4GB RAM, 50GB NVMe SSD; 50 GB SSD memoria permanente en Amazon EBS; servidor en Estocolmo → 49,01\$/mes
- Microsoft Azure: 2vCPU, 4GB RAM, 20GB almacenamiento temporal; 64 GB HDD memoria permanente; servidor en Noruega → 33,47\$/mes
- Google CE: 1vCPU, 3,75GB RAM, 375GB SSD local disponibles; 50GB disco persistente; servidor en Finlandia → 32,36\$/mes

Como se puede ver, los precios de Google CE y Microsoft Azure son muy parecidos, pero Azure ofrece la mejor capacidad al mejor precio, con el doble de potencia de procesamiento, por lo que se elige este proveedor para la máquina virtual.

Para permitir el acceso al proveedor a los ficheros STL, ya que los necesitará para poder fabricar las piezas, se deben subir los STL a una carpeta compartida en una plataforma de cloud storage. Lo más lógico es usar Google Drive, ya que se necesitará Google Sheets para la tabla de diseño. Sin embargo, esto debe ser coherente con lo que ya tenga implantado Singularu. Usando el correo `empleo@singularu.com` y dos verificadores de emails (VerifyEmailAddress y EmailHippo), se encuentra que esta cuenta pertenece a un dominio de Google, por lo que se puede deducir que Singularu ya tiene Google Drive implementado. Se usará esta plataforma para guardar los STL desde la máquina virtual, dando acceso a cada proveedor sólo a la carpeta con los archivos que necesiten.

6.2 Gestión de pedidos y envío

Es inviable gestionar una estrategia de customización en masa sin tener un ERP. Esto es uno de los objetivos de Singularu de por sí, pero es especialmente necesario para este proyecto. Lo primero que se debe decidir es si usar un software *open source* o *closed source*. Se listarán las ventajas y desventajas de cada una de las dos opciones (Optimus information, (s.f.)):

Tabla 4. *open source* vs *closed source*

	Open Source	Closed Source
Ventajas	-Prueba gratuita -Comunidad gratuita de apoyo para dudas y problemas -Estándares abiertos -Escalabilidad -Menos errores de software y rápida solución a los errores existentes -Mejor seguridad (seguridad no reside en que el código es privado) -Elimina dependencias de un único proveedor -Por lo general, coste menor	-Facilidad de uso e implementación -Estabilidad -Propiedad del software y expectativa de servicio de actualizaciones -Soporte personalizado a cada compañía
Desventajas	-Solución a problemas puede no ser la más eficiente y, para errores más aleatorios puede ver una respuesta más lenta -Pueden ser complejos de implementar por usuarios no formados	-Dependencia de una sola compañía -Código cerrado sin posibilidad de que el usuario lo edite -Puede volverse obsoleto

Fuente: elaboración propia

Puede verse que ambos tipos de ERP tienen sus ventajas y sus desventajas. Sin embargo, se considera que el *open source* ERP es el más adecuado para la empresa Singularu. Es mucho más ágil y adaptable, que es precisamente lo que necesita una empresa en crecimiento como Singularu. Teniendo en cuenta la estrategia de customización en masa que se pretende implantar, que no es algo estándar, es conveniente tener un software flexible al que se le

pueda modificar el código aunque sea vía terceros. Además, tiene unos costes iniciales mucho más bajos, lo cual se adapta más al presupuesto de Singularu.

Existe una gran cantidad de ERPs *open source*. Sin embargo, el objetivo es encontrar uno que esté ampliamente extendido y tenga una gran comunidad. Esto dará a la empresa más seguridad de que el software no va a caer repentinamente en el olvido. Por eso, se han recogido los tres ERPs *open source* más mencionados en las listas de mejores softwares para este propósito (Ly, A., 2019):

- Odoo:
 - Odoo On Premise:
 - *Community* (gratuito) con aplicaciones básicas, se puede instalar en local completo, en *source* o levantar un contenedor en Docker usando la imagen de Odoo para Docker. Este contenedor luego se podría guardar en la nube usando cualquier plataforma de *cloud storage*
 - *Enterprise* (SaaS) (12€/usuario/mes) incluyendo módulos básicos para CRM, recursos humanos, inventario, etc. La primera app gratuita y a partir de ahí tienen un coste adicional. Incluye además addons avanzados y soporte garantizador por parte de Odoo
 - Odoo en la nube (SaaS) (12€/usuario/mes) con las mismas características que *On Premise Enterprise*
 - Odoo.sh (PaaS) (50\$/usuario/mes + costes de storage) incluyendo funcionalidades avanzadas y acceso desde el móvil. Pueden añadirse otras apps gratis o por costes mensuales variables. Sobre todo, al ser una *Platform as a Service*, permite customizar el ERP e incluir apps de terceros, algo que las apps anteriores no permiten.
 - Ayuda en la implementación con *Success Pack*.
- ERPNext:
 - Plan básico: 5\$/usuario/mes, todos los módulos, soporte prioritario, 2GB de espacio en la nube, entre otros
 - Plan estándar: 10\$/usuario/mes, con 5GB de espacio, seguimiento de tres compañías, integración con Dropbox, Shopify, AWS, etc

- Plan Pro: 25\$/usuario/mes, 15GB de espacio, seguimiento de compañías ilimitadas y scripts ilimitados.
- Fácil de implementar independientemente, aunque tiene videos explicatorios y otros recursos
- xTuple:
 - 45-150\$/usuario/mes
 - Uso en la nube 100\$/mes + 30\$/usuario/mes
 - Videos y demos para implementación

Por la información que se puede obtener de los usuarios de estos sistemas online, se puede ver que, comparando Odoo y ERPNext, el segundo tiene funcionalidades mucho más limitadas. Aunque es más sencillo de utilizar y más amigable para el usuario, ERPNext está mucho más enfocado a la parte de negocio y no incluye funciones como un CRM (*customer relationship management*) o un MRP (*material requirements planning*). Una evaluación por parte de *financesonline*, una organización que hace evaluaciones de productos para las empresas, otorga una puntuación más alta a Odoo, pero además muestra que es mucho más escalable que ERPNext. Es cierto que ERPNext es directamente compatible con Shopify, que se recuerda es la plataforma que utiliza en la actualidad Singularu para vender sus productos, mientras que en Odoo se debería lograr esta compatibilidad por medio de apps adicionales. Por otro lado, Odoo ofrece la confianza de que numerosas grandes empresas lo usan (Danone, Toyota, WWF...), que no es el caso para ERPNext (Finances online, (s.f.)).

xTuple, por lo que puede observar en las capacidades que ofrece, está enfocado más bien a gestión de inventario y fabricantes, que no es el caso de Singularu que subcontrata la fabricación. Aunque el ERP es adaptable, este enfoque combinado con su menor escalabilidad y su falta de implementación web hacen que sea menos apropiado para este caso.

Se decide por tanto que el ERP que debe usar Singularu es Odoo, un ERP flexible, *open source*, con una amplia comunidad de desarrolladores que permiten implementar numerosas apps para lograr una integración horizontal entre todos los sistemas. En función de lo que se necesite para la integración horizontal, se decidirá qué tipo de cuenta se debe usar.

Para empezar, se debe lograr la integración entre Shopify y Odoo. Odoo como tal, posee una plataforma de ecommerce, por lo que lo más sensato sería migrar la tienda online a Odoo. Sin embargo, esto dependerá de la estrategia que tenga Singularu. En función de si pretenden

migrar la plataforma inmediatamente, en corto-medio plazo o a largo plazo será más conveniente no comprar un conector, comprar un conector en pago único Shopify-Odoo o un conector de pago por uso. Se encuentran tres opciones con funcionalidades parecidas, dos de pago único y una de pago por uso. Se muestra el punto de “*break-even*” entre las distintas opciones encontradas en la Ilustración 32. Como se puede ver, a partir de un año de uso saldría más rentable utilizar el conector de pago único 2, y a partir de 17 meses también sería más sensato haber comprado el conector de pago único 1 (Emipro, (s.f.)) (Webkul, (s.f.)). Como se decía, esta elección dependerá en gran medida de la estrategia a largo plazo que tenga Singularu. En caso de no querer migrar la plataforma, se recomendaría a Singularu invertir en el conector de pago único 2, pues las características son similares entre todos los conectores. Por otro lado, el conector de pago por uso permitiría hacer un *soft-roll* de Odoo, aunque esto implicaría también integrarlo y probarlo. El uso de diversas plataformas distintas, en general, genera problemas cuando una se desarrolla y la otra no se adapta a esto, por lo que se recomienda a Singularu migrar su tienda online a Odoo y este proyecto se desarrollará teniendo en cuenta esta elección.

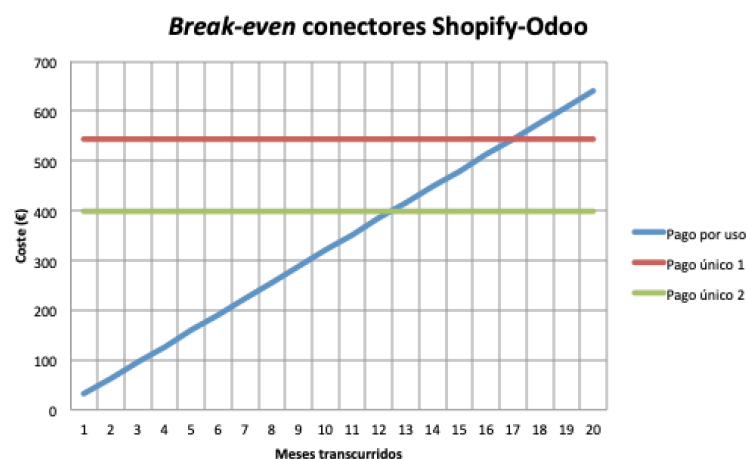


Ilustración 32. Punto igualación costes entre soluciones de conectores. Fuente: elaboración propia

El siguiente paso es lograr la integración de Odoo con Google Sheets para actualizar la tabla de diseño con los pedidos de los clientes. Llama la atención la poca cantidad de conectores que se encuentran para ello y lo poco actualizados que están. Se encuentra el conector de *Cenit IO Google Sheets API v4 Integration*, que es el único disponible para una versión de Odoo superior a 8 (la última versión de Odoo es la 12). Incluso este sólo está disponible para v11. Para probar su integración, como parte de la prueba de concepto, se levanta un contenedor Docker con Odoo community. El proceso es relativamente sencillo, simplemente consiste en descargar la imagen de Odoo para Docker, elegir en el archivo correspondiente el puerto en el que se quiere desplegar el contenedor y, a continuación, con Docker y un terminal del ordenador que esté en el directorio de la carpeta de la imagen de Odoo, utilizar

el comando “*docker-compose up*”. Esto crea un contenedor con todo lo necesario para correr Odoo. A continuación, se debe crear una base de datos y un usuario y ya se puede proceder a instalar todas las apps necesarias. Se puede ver una imagen de la base de datos en la Ilustración 33.

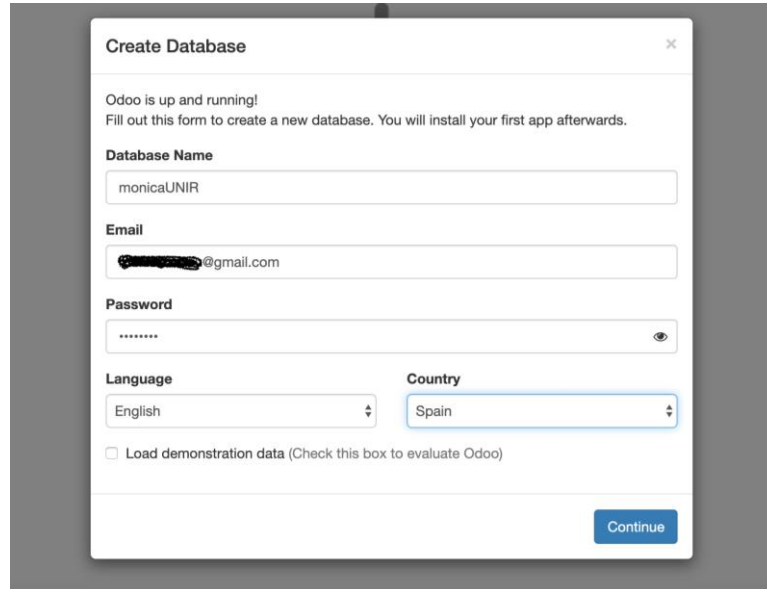
The image shows a web browser window with the title 'Create Database'. The page content includes the text 'Odoo is up and running! Fill out this form to create a new database. You will install your first app afterwards.' Below this, there are several input fields: 'Database Name' with the value 'monicaUNIR', 'Email' with a partially redacted address ending in '@gmail.com', and 'Password' with a masked password '*****'. There are also dropdown menus for 'Language' (set to 'English') and 'Country' (set to 'Spain'). At the bottom, there is a checkbox labeled 'Load demonstration data (Check this box to evaluate Odoo)' which is currently unchecked. A blue 'Continue' button is located at the bottom right of the form.

Ilustración 33. Base de datos Odoo Community. Fuente: elaboración propia

A continuación, se debe instalar el conector para Google Sheets. Para ello, se descarga el zip de la página de apps de Odoo y se descomprime en la carpeta de addons. Para poder usar el conector, primero se requiere el conector Cenit que viene también en la carpeta. Aunque es de pago (15€/mes de tarifa mínima), se puede usar una prueba gratuita. Una vez se ha añadido a la carpeta, se debe ir al navegador y, usando el número de puerto que se ha elegido, se debe colocar lo siguiente: `localhost:nºpuerto/web?debug=1`. Esto permitirá entrar en modo desarrollador y, en la pestaña Apps, dar a *Update all apps*. Así, aparecerá la app de integración de Cenit como una opción a instalar:

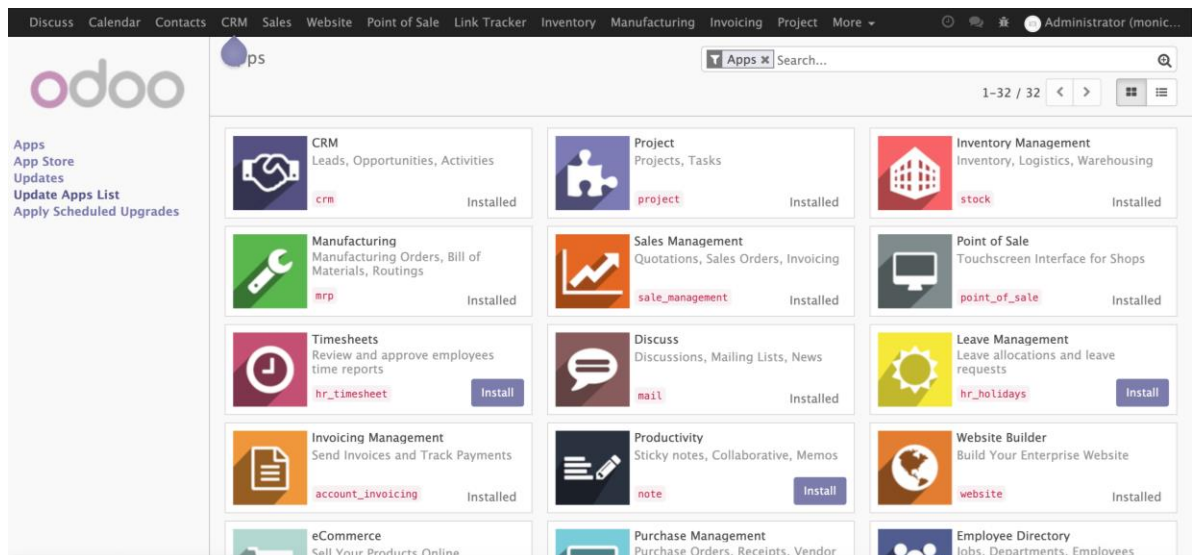


Ilustración 34. Modo desarrollador Odoo. Fuente: elaboración propia

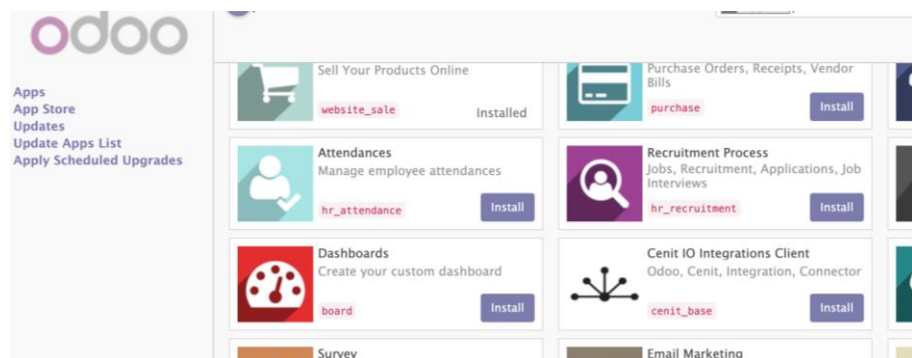


Ilustración 35. Cenit app en Odoo. Fuente: elaboración propia

Al intentar instalar esta app, sin embargo, se encuentra el siguiente problema: no encuentra el módulo *inflect*, pese a que este módulo ya se ha instalado en el ordenador usando “*pip3 install inflect*” (se está usando python 3.8). Mientras se busca una solución a esto, y teniendo en cuenta que el módulo de base para un módulo aparentemente gratuito ha resultado ser de pago, se buscan soluciones alternativas.

Lo que se descubre es que Odoo tiene integrada la conexión con Google Drive y Google Sheets, aunque hay que saber encontrarla en la parte de Settings, General Settings, Integration. Dado que esta es una integración estándar, se podría usar con la cuenta de Odoo como SaaS, para la cual se puede hacer una prueba gratuita. Se prueba esto, pues el integrador no funciona con una implementación de Odoo docker.

Una vez se han otorgado los permisos pertinentes, se puede usar la integración con cualquier módulo. Por ejemplo, accediendo al módulo de *Purchase*, se puede crear una orden de compra nueva para un anillo, y dicha orden se mandaría al proveedor. A continuación, en el resumen de todas las peticiones, se accede a la pestaña *Favorites*, *Add to Google*

Spreadsheet. Esto creará una hoja de Google en la cuenta de gmail a la que se le haya dado acceso a Odoo. Se le debe dar permiso a la hoja de cálculo a acceder a Odoo desde la pestaña Odoo, y configurarla para la url y la base de datos del ERP. Usando los comandos que proporciona Odoo, se puede usar esta información para alimentar el *Spreadsheet* que sirve de tabla de diseño para el modelo 3D.

En la sección de fabricación, se explicará qué debe hacer el proveedor con el STL para convertirlo en un código para impresión. Sin embargo, conviene comentar en esta sección cómo se gestionará la comunicación con el proveedor. La orden de fabricación se gestiona a través del módulo Purchase, el cual permite añadir más de un proveedor para el mismo producto. Esto es particularmente útil para el modelo de Singularu que funciona con una red de proveedores distribuida.

Por defecto, Odoo elige como proveedor para un producto al primero de la lista. Como se verá en la sección Sostenibilidad y economía circular, esto no es lo más conveniente para este proyecto, sino que interesa poder introducir una serie de reglas para elegir el proveedor en función del menor lead time y la mayor cercanía al cliente final. Para esto, se puede crear una acción planificada. Utilizando el modo *developer* de la misma forma que para Odoo en Docker, se puede acceder en la ventana Ajustes, pestaña Técnico, a las acciones planificadas. Esto permite crear una acción programada en Python que se ejecutará con la frecuencia que se le pida. Se puede ver la ventana para crear la acción en la Ilustración 36.

Ilustración 36. Ventana para crear acción planificada Odoo. Fuente: elaboración propia

Así, se puede programar para que cada vez que haya un pedido a través del *ecommerce*, se genere automáticamente una *Purchase order*, en concreto al fabricante que más cerca esté de la comunidad autónoma en la que se pida el producto. Para garantizar el correcto funcionamiento de esto, se puede hacer que la opción de comunidad autónoma en la dirección sea un *drop-down menu*, asegurando así que el usuario elige una de las opciones que se han

contemplado. Se puede configurar la acción para que se realice cada 15 minutos. Aunque la conversión de los archivos a STL sucede cada hora, conviene dar una información más fluida al proveedor sobre qué órdenes de trabajo va a recibir para que pueda planificar su producción. Dado que Odoo no cobra un cargo adicional por la frecuencia de acciones planificadas, esto no supone un coste adicional para Singularu pero sí agiliza el flujo del lado del proveedor. Además, en caso de que el proveedor no pueda aceptar la orden de trabajo, se podrá redirigir rápidamente a otro proveedor sin necesidad de esperar una hora.

Como se ha podido ver, no se necesitan conectores personalizados para lograr la integración horizontal. Es por esto que se recomienda a Singularu contratar Odoo en la nube (SaaS), pues con esto es suficiente para cubrir sus necesidades. En concreto, el dashboard de Singularu con las apps esenciales recomendadas quedaría así:

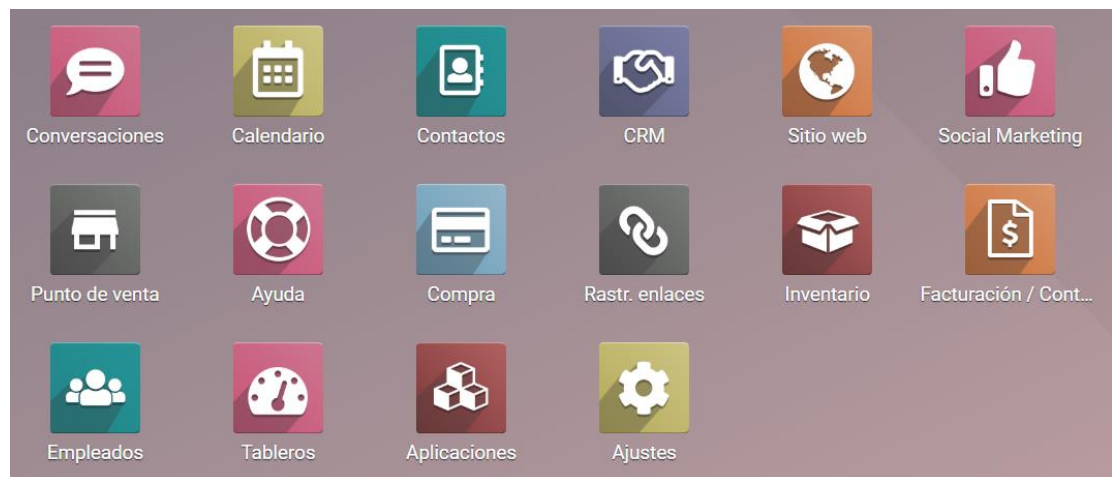


Ilustración 37. Apps de Odoo recomendadas para Singularu. Fuente: elaboración propia

Las apps concretas instaladas serían:

- CRM (*Customer Relationship Management*): seguimiento de clientes y posibles oportunidades, realización de previsiones. Esto es esencial para el modelo que utiliza Singularu de rotación rápida del catálogo
- Sitio web: con un módulo integrado de ecommerce (app adicional), se utiliza para crear la página web y gestionar el comercio online
- Inventario: para gestionar el inventario de las piezas que no se fabrican a medida según pedidos
- Punto de venta: este módulo es necesario para las tiendas físicas que Singularu está empezando a ampliar
- Compra y Facturación: estas dos apps se usan para gestionar las compras a los proveedores y las facturas no sólo en relación a los productos en sí sino también en cuanto a nóminas de empleados, etc

- Ayuda: para gestionar los problemas de los clientes y los empleados online. En la actualidad Singularu usa Zendesk para gestionar esto, pero esta aplicación también es de pago. Se recomienda a Singularu integrar esta funcionalidad en su ERP
- Empleados (gratuita): para gestionar información de los empleados, vacaciones, etc
- *Social marketing*: como su nombre indica, para gestionar el marketing en las redes sociales. Esto es muy importante para una empresa basada principalmente en el comercio online

6.2.1 Espacio de soluciones

Como se ha mencionado, no es recomendable que el usuario pueda personalizar totalmente el anillo. Hay que identificar un espacio de soluciones, una serie de atributos en los cuales las necesidades de los consumidores más varían (Salvador, F. et al., 2009). Como se veía en la fase de empatía, en el área de la joyería el consumidor prefiere joyas más hechas a medida, pero teniendo una intervención menor en el diseño en sí. Por ello, uno de los primeros parámetros que se debe permitir es editar el diámetro del anillo. También se considera que se debe permitir cambiar la altura, ya que de esta forma el usuario puede elegir en que dedo y a qué altura del dedo colocar el anillo. Se considera que no se debe permitir cambiar el grosor del anillo, ya que la distancia entre dedos es bastante constante de una persona a otra. Además de estas características generales para todos los anillos, para cada diseño particular se permitirán cambiar una serie de parámetros que, sin cambiar el diseño original, le darán un toque personal al anillo. Se mantendrá, sin embargo, ese diseño original, ya que lo que compran los usuarios al comprar joyería es el diseño en sí, no tener que hacer ellos mismos un diseño independiente.^(d)

En el caso del anillo que se está usando como modelo, la lista de parámetros que el usuario puede cambiar serían:

- Altura (5, 10 y 15 mm)
- Diámetro (de 11 a 20.5 mm con paso de 0.5 mm)
- Forma de triángulo, de trapecio isósceles o de rectángulo

Esto parece una serie de parámetros muy limitados, pero si se prueba en Odoo a crear las variantes de producto con los valores mencionados da un total de 180 variantes, algo muy difícil de gestionar con stock previo. En el caso del anillo en espiral de la Ilustración 18, los parámetros serían:

- Altura

^d Para hacer un diseño propio existen otras plataformas como Shapeways, enfocado a un nicho de mercado de *makers*.

- Diámetro
- Paso del muelle
- La forma de las terminaciones del muelle (natural, con una esfera, con un cubo, etc)

Se puede ver el concepto general: una serie de parámetros altamente delimitados para facilitar al usuario la elección.

Otra cosa a tener en cuenta es que Singularu normalmente funciona fabricando una serie corta para probar sus joyas estándar y a continuación, si tienen éxito, fabrica una serie más larga. Sin embargo, gracias a las joyas personalizadas, Singularu podrá probar múltiples diseños y conceptos sin necesidad de tener stock de dichas piezas. Puede utilizar las combinaciones más utilizadas para alimentar los diseños de las joyas estándar. Así, podrá ampliar su negocio de joyas personalizadas mejorando a la vez las joyas del nicho de mercado que prefiere comprar algo estándar.



Ilustración 38. Página web: anillo triangular a=5mm. Fuente: elaboración propia



ANILLO ZIGZAG

Altura (mm)

10

Forma

Triangular

☒ Trapezoidal

Rectangular

Diámetro (mm)

16.5

29,95 €

-

1

+

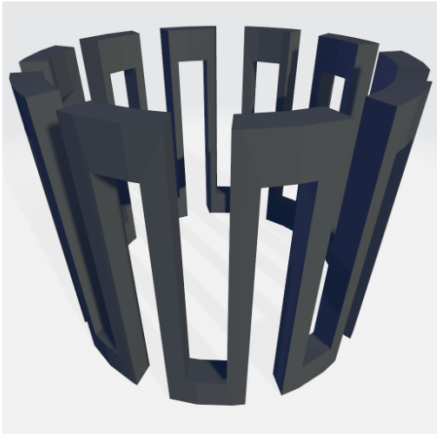
Agregar al carrito

Garantía de devolución de 30 días

Envío gratuito en España

Compre ahora, recíballo en 2 días.

Ilustración 39. Página web: anillo trapezoidal a=10mm. Fuente: elaboración propia



ANILLO ZIGZAG

Altura (mm)

15

Forma

Triangular

Trapezoidal

☒ Rectangular

Diámetro (mm)

16.5

29,95 €

-

1

+

Agregar al carrito

Garantía de devolución de 30 días

Envío gratuito en España

Compre ahora, recíballo en 2 días.

Ilustración 40. Página web: anillo rectangular a=15mm. Fuente: elaboración propia

En la Ilustración 38, la Ilustración 39 y la Ilustración 40 se puede ver un ejemplo de cómo quedaría la página web. Como se puede ver, se pueden añadir imágenes distintas a cada variante de producto para que el cliente pueda tener una idea de cómo quedarán sin tener que implementar un complejo visor de archivos 3D en la página web. Dado que introducir manualmente 180 fotos es inviable y contrario a los propósitos del proyecto, se considera que se deben elegir las variables que más cambien el diseño y seleccionar que se creen variantes

para ellas. Por ejemplo, en este caso se ha seleccionado que Odoo genere variantes para la altura y la forma, pero no para el diámetro. Así, sólo se han tenido que introducir 9 imágenes, ya que se considera que el diámetro no cambia considerablemente el diseño de la pieza. Aunque las proporciones cambien, el aspecto general se conservará.

6.2.2 Reglamento General de Protección de Datos

El nuevo Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) impone controles más estrictos a la hora de manejar los datos de los usuarios. La cesión de datos debe recibir el consentimiento explícito del usuario, no siendo suficiente con un mensaje de “He leído y acepto la política de privacidad”, sino requiriendo una explicación clara de dicha cesión.

De acuerdo con esta normativa, la actual política de privacidad de Singularu señala:

Tus datos personales no serán cedidos a ningún tercero, excepto a aquellos terceros para los cuales resulte necesaria su intervención para la correcta gestión de la prestación del servicio (transportistas, entidades financieras, etc.). (Terminos de uso: privacidad y protección de datos personales, s.f.)

De hecho, según el RGPD, cuando se “ceden” datos a terceros para la prestación de un servicio no se considera cesión como tal, aunque si debe firmarse un contrato para garantizar que los datos sólo se usan para aquello para lo que han sido cedidos y se destruyen al terminar dicha actividad.

Es evidente que se deberán ceder los datos de los usuarios a la empresa transportista para que puedan entregar el paquete en el lugar correcto. Dicha empresa no usará los datos para análisis u otros fines propios, por lo que no se considera cesión. Sin embargo, no es evidente que se deban ceder los datos al proveedor de piezas. Por el contrario, se puede recurrir a un recurso que simplifica en gran medida el tratamiento de datos: la anonimización. Al fabricante únicamente se le comunicará el código de pedido, que será el que usará para gestionar la fabricación internamente. Será la empresa transportista la que proporcionará el embalaje de envío del producto, junto con la etiqueta con la dirección de envío, a partir del código con el que el fabricante identifique cada paquete. Es decir, cuando el transportista recoja el paquete, lo introducirá en una bolsa externa que cerrará con la pegatina que corresponda. Así, se ahorran los posibles problemas derivados de una cesión de datos que no es estrictamente necesaria.

6.3 La fabricación

Para la fabricación de la pieza, existen tres posibilidades: fabricar la pieza en metal impresa en 3D (1), fabricar la pieza en plástico impresa en 3D y aplicarle un recubrimiento metálico (2) y fabricar la pieza en cera de bajo coste en 3D y usar eso como molde para fundición (3). En la sección Estado del arte se pueden ver todas las tecnologías existentes para fabricación aditiva. Sin embargo, sólo algunas de estas son viables para este proyecto teniendo en cuenta el tipo de producto que se va a fabricar (si se consideran las posibilidades 1 y 2):

- FDM (filamento fundido)
- SLS/SLM (cama de polvo derretida de forma localizada)
- *Binder jetting* (pegamento disparado sobre cama de polvo)

Las demás tecnologías son o bien muy caras (*Direct Energy Deposition*), o bien producen piezas muy frágiles (*Material Jetting* y *SLA*) o simplemente no es aplicable a joyería (*LOM*). Las tres tecnologías que se han seleccionado pueden imprimir tanto metales como plásticos. Para elegir entre estas tecnologías, se realiza una matriz de decisión ponderada teniendo en cuenta una serie de criterios importantes para la pieza final. Se ha realizado una ponderación del 1 al 3 (donde el 3 es lo más importante) y una puntuación también del 1 al 3 (donde el 3 indica la tecnología más apropiada o “mejor” en ese criterio teniendo en cuenta la aplicación). Esta matriz se puede ver en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de decisión tecnología de fabricación

Criterio	Ponder.	FDM	SLS/SLM	Binder Jetting
Coste relativo	3	3	1	2
Calidad superficial	3	1	2	2
Tiempo de fabricación	3	1	3	2
Necesidad de post-procesado	2	1	2	2
Precisión dimensional	2	1	3	2
Tamaño del detalle	2	1	3	1
Efectos térmicos	2	1	2	3
Necesidad de soportes	1	1	3	3
Disponibilidad de proveedores	1	3	2	1
Puntuación total		27	43	38

Fuente: elaboración propia

Como se puede ver en la tabla, de acuerdo con los criterios de evaluación y su importancia, la tecnología más adecuada para este caso es SLS/SLM. FDM produce piezas una a una únicamente, con una calidad superficial muy baja y alta visibilidad de las capas. Las piezas

son frágiles en z (dirección de las capas), necesitan soportes para la impresión, tienen baja precisión dimensional y sufren con facilidad de defectos de calidad por efectos térmicos.

Binder jetting, por su parte, puede producir piezas de una alta calidad superficial y producir más de una pieza en la misma impresión. Sin embargo, las piezas recién impresas (antes del sinterizado) son muy frágiles, por lo que es muy difícil imprimir detalles sin romperlos al quitar el polvo que rodea a la pieza. Además, el sinterizado tiene efectos fuertes sobre la dimensión de la pieza (pudiendo reducirse hasta en un 10%), y el tiempo de fabricación se ve incrementado con respecto a SLS por la necesidad de sinterizar las piezas tras la impresión, lo cual puede durar incluso más tiempo del que dura la impresión en sí. SLS/SLM, por lo tanto, es la tecnología más adecuada para una estrategia de customización en masa de pequeños productos como la joyería.

En lo que se refiere a la posibilidad de imprimir las joyas directamente en metal, hay que decir que la impresión para piezas 3D en metales preciosos está muy poco desarrollada. Aunque para otros metales como el acero inoxidable y el titanio se dispone ya de multitud de alternativas en lo que a impresoras se refiere, para metales preciosos solamente se han encontrado las compañías eos (s.f.), *Progold3D* (s.f.) y *Hilderbrand & Cie* (s.f.), y de hecho los últimos aún no han terminado de desarrollar su impresora. Es una tecnología que hoy por hoy no ofrece ningún gran proveedor de servicios de impresión 3D, aunque sí que se han encontrado algunos proveedores más pequeños. Sin duda esta tecnología tiene mucho potencial y podría ser una estrategia a futuro, pero en la fecha de realización de este proyecto se considera que no está lo suficientemente madura como para permitir la fabricación de joyas accesibles y personalizadas en masa. Se puede descartar, por tanto, la opción de SLM. La pieza estará impresa en plástico. Aun así, siguen habiendo dos opciones: hacer un molde positivo de cera, impreso con tecnología *material jetting*^(e), del cual luego se hace un negativo para una fundición, o bien imprimir en plástico y aplicar un recubrimiento metálico. La elección entre estos dos métodos vendrá determinada principalmente por los proveedores disponibles y sus costes de fabricación.

Para obtener una idea de lo que podría costar cada uno de estos dos métodos, se utilizan las herramientas de cotización de varios proveedores de piezas de fabricación aditiva con el anillo de la Ilustración 24, la segunda configuración del diseño. Así, se puede obtener una idea general de lo que puede costar una pieza de estas características:

- SLS plástico (sin incluir recubrimiento): 5-13€

^e Es la única tecnología a día de hoy que puede imprimir cera de manera eficiente en cuanto a costes. Existen filamentos para impresión por FDM pero, como se comentaba, la impresión es mucho más lenta.

- Latón con baño de rodio: 27-29€
- Latón con baño de oro: 27-29€
- Fundición plata: 23-51€
- Fundición oro: 290-330€

En la Tabla 6 se pueden ver los precios desglosados por proveedor.

Tabla 6. Precios proveedores fabricación aditiva

Proveedor	MJF gris ^(f)	SLS blanco	Latón + oro/rodio	Plata	Oro
3D hubs	6,47€	7,11€	-	-	-
Shapeways	8,17€	5,44€	27,20€	23,28€	328,84€
Materialise	12,88€	13€	-	-	-
i.materialise	12,75€	12,75€	-	25,86€	292,96€
Sculpteo	6,60€	6,60€	28,90€	51,40€	-

Fuente: Elaboración propia

Los precios de las fundiciones de oro son mucho más altos que cualquier anillo que ofrezca Singularu (el más caro cuesta 29,95€, el más barato 14,95€). Teniendo en cuenta que Singularu no ofrece productos íntegros en oro sino sólo con recubrimiento de este material, se descarta esta opción. El objetivo es acercarse al precio de las piezas estándar con piezas personalizadas de una forma única para ofrecer un valor diferencial.

Otra cosa que se observa es que los precios son idénticos si se usa otra configuración del anillo como la de la Ilustración 25 (anillo fino), lo cual indica que los costes no varían en ese rango de tamaño. Esto implica que Singularu podrá ofrecer un precio único para cada tipo de anillo sin tener que ajustarlo a la configuración particular de cada cliente, lo que simplifica en gran medida la estrategia de precios.

Los proveedores que se han elegido para hacer comparativa de precios son grandes proveedores. Dado que Singularu no fabrica sus propias joyas, es poco probable que se encuentren proveedores pequeños con precios mucho menores que los que se han mostrado. Además, la impresión SLS es más escalable que la fundición, que requiere un molde individual y un tipo de impresión (*material jetting*) menos productivo. Sin considerar la fundición como tecnología inadecuada para joyería personalizada, este proyecto se centrará en piezas impresas mediante SLS, por considerarse que estas pueden permitir la verdadera expansión de las joyas personalizadas, mientras que la fundición será más adecuada para joyas de mayor precio.

^f Multijet Fusion: tecnología de SLS de HP que usa un “escáner” y dos agentes líquidos para fundir las piezas capa a capa en lugar de un láser localizado, dando lugar a piezas isotrópicas.

SLS y MJF no son exactamente lo mismo. La tecnología MJF de HP produce piezas más isotrópicas, versus piezas ligeramente más débiles en Z con procesos SLS. Además, aunque los tiempos de impresión son parecidos, la unidad de post-procesado de MJF es mucho más rápida tanto en el enfriamiento como en la limpieza del polvo sobrante. No sólo esto, sino que el 80-85% del polvo sobrante tras una impresión es reciclable y reutilizable en MJF, frente al 50% en SLS (Bournias, A., (s.f.)). El precio de ambas tecnologías, como se observa en la Tabla 6, es similar. Por esto, se decide que la tecnología de MJF es la más adecuada, aunque ambas serían válidas para los propósitos de este proyecto.

La impresión de piezas en MJF se gestiona de la siguiente manera: los ficheros STL se importan al programa *materialise*, que es el *slicer*⁽⁹⁾ recomendado por HP y el que tiene todos los *settings* implementados. El programa tiene un algoritmo que automáticamente coloca las piezas para aprovechar el espacio al máximo, pero el operario puede elegir mover las piezas si considera según su experiencia que se imprimirán mejor en otra posición. A partir de ahí, el programa generará el código de impresión que será el que mueva la impresora.

La logística de las piezas impresas con MJF es más compleja que otro tipo de tecnologías (aunque igual que SLS). Esto es porque todas las piezas se imprimen en un mismo cubo y se desordenan al limpiar dicho cubo en la estación de post-procesado y quitar el polvo sobrante. Dado que cada pieza es única pero que todas son similares entre sí, resulta difícil garantizar la identificación de cada pieza. Esto no es una preocupación de Singularu, sino de su proveedor, pero es igualmente necesario que este proyecto la cubra.

Primero se debe elegir al menos a un proveedor de piezas para tener una idea de qué tipo de acabados están desarrollados y que costes podrían tener. Llama la atención la diferencia de precios encontrados entre distintos proveedores. Además de los proveedores mencionados, con un rango de precio entre 6 y 12 €, se encuentran otros proveedores locales (españoles) como Pantur, con un precio de 85 € por la misma pieza, 3D Limitless por 32 € o Ficep S3 por 0,61€. Como se puede ver, existe una gran diferencia de costes difícil de explicar. Sin embargo, se decide explorar la oferta del proveedor Ficep S3, ya que no sólo es un proveedor local (Cataluña), reduciendo los costes de envío y haciéndolo más sostenible, sino que además ofrece un precio más barato que otros grandes proveedores como Shapeways.

Ficep S3 viene de “Steel Surface Systems”, que intenta indicar que son expertos en acabados y pinturas metálicas. Ofrece una gran cantidad de acabados para piezas impresas en MJF, entre ellos una pintura metálica hecha con metal, lo cual da una apariencia de gran calidad.

⁹ Programa que divide el STL en capas y crea el código que moverá la impresora

El coste con el acabado metálico para el anillo es de 0,92 €. Se puede ver en la Ilustración 41 el catálogo de colores para pinturas metalizadas que ofrecen.

CARTA DE COLORES					
					
Oro Rosa	Violeta R-4011	Azul R-5025	Verde R-6025	Rojo R-3032	Oro R-1036
					
Azul Oscuro R-5026	Negro	Aluminio R-9006			

Ilustración 41. Colores pintura metalizada Ficep S3. Fuente: Ficep S3 (2020)

Para comprobar que el reducido coste no es a costa de la calidad, se decide pedir dos piezas de este fabricante. Una de ellas se pide en su acabado *Carbon Black*, no metálico, y la otra en el acabado de pintura metálica color aluminio R-9006. El precio por estas dos piezas es de 1,59€ y tardan 10 días laborables en tenerlas. En la Ilustración 42 y la Ilustración 43 se pueden ver los productos finales.



Ilustración 42. Anillo MJF con acabado color aluminio. Fuente: elaboración propia



Ilustración 43. Anillo MJF con acabado *Carbon Black*. Fuente: elaboración propia

El acabado de estas piezas es ligeramente rugoso y, según explica el proveedor, esto se debe a que las piezas pequeñas de MJF quedan más rugosas porque no se calientan tanto. El

proveedor explica que se puede conseguir un acabado similar a la inyección, pero esto implica 3 o 4 días más de *Lead Time* (LT), pues necesita un proceso iterativo de lijado y pintado. Esto va en contra del propósito de este proyecto, por lo que se considera mejor idea diseñar joyas que puedan beneficiarse de este tipo de acabado. Esto pasa primeramente por redondear todos los bordes en el CAD para garantizar que no queda ninguna punta afilada que pinche al usuario. Además, el concepto de la joya en sí cambiará, aprovechando la textura de la pieza como parte del diseño.

Por otro lado, es cierto que la pintura metálica da mayor apariencia de calidad, reduciendo la flexibilidad de la pieza y dándole mayor solidez. El acabado *Carbon Black* también es estéticamente agradable, aunque quizás más adecuado para otro tipo de joya que no sea tan flexible. En definitiva, si se quieren aprovechar los beneficios de la tecnología MJF (o la SLS), se debe diseñar *para* MJF, sino no tiene sentido usar esta tecnología.

Ficep S3, por su parte, es un excelente proveedor. Trabaja con grandes empresas como SEAT (CUPRA) y HP, y de hecho fueron uno de los primeros en tener una máquina MJF cuando HP aún la estaba desarrollando. El trato es atento y de preocupación por el cliente. Su enfoque en cuanto a la fabricación es hacia la sostenibilidad (ver Sostenibilidad y economía circular). Su explicación del bajo coste es que saben aprovechar los espacios en el cubo de impresión para sacar el mayor partido posible. Por lo tanto, se considera que son proveedores adecuados para este proyecto.

Los proveedores de piezas MJF a menudo encuentran que uno de los tiempos más variables es el de clasificación de piezas. Como todas las piezas salen de una misma impresión y se mueven de su posición inicial al limpiar el polvo sobrante, se debe clasificar a posteriori cada pieza para saber quién la ha pedido, algo que se hace de forma manual. A menudo esta clasificación se tiene que volver a hacer tras el post-procesado, dado que no todas las piezas se piden con el mismo acabado. A esta complicación habitual se le debe añadir en el caso de este proyecto que las piezas serán altamente similares, pero con destinatarios distintos.

Lo primero que se debe intentar es eliminar la “doble clasificación”, antes y después del procesado. Una forma sencilla de conseguir esto es usar lo que en HP denominan jaulas (Caron, C., Ju, A. y McCutcheon, J., 2019). Se puede ver un ejemplo de esto en la Ilustración 44. Se trata de una estructura muy fina que rodea el volumen de impresión de las piezas seleccionadas, en principio para facilitar la extracción de piezas pequeñas, pero también para mantener piezas juntas tras la eliminación del polvo sobrante. Esta jaula se puede añadir utilizando el software de preparación de la impresión. Lo que se propone en este proyecto es utilizar un código numérico para identificar el post-procesado o incluso la empresa cliente si esta tiene necesidades especiales tras la impresión. Este código se puede imprimir en una de

las paredes de la caja para facilitar la identificación y agilizar enormemente el primer proceso de clasificación. Esta jaula sólo se usaría para clientes como Singularu, con piezas altamente similares.

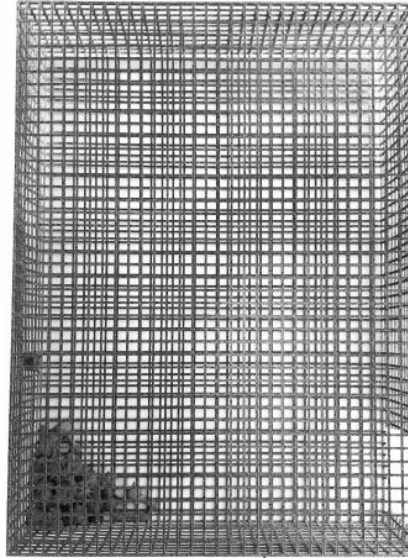


Ilustración 44. Jaula con piezas tras la eliminación del polvo sobrante MJF. Fuente: Caron et al., 2019

Tras el post-procesado, se debe identificar cada pieza según su código de pedido. La forma más sencilla de hacer esto es mediante mediciones. Para Singularu, lo único importante es que el proveedor sepa diferenciar sus piezas y mandarlas al cliente correcto, por lo que el proveedor puede seguir filtrando manualmente las piezas (entendiendo que imprime piezas de otros clientes en el mismo cubo). Una vez que haya separado las piezas de Singularu de las demás, puede usar una aplicación conectada con Google Sheets, en concreto con la base de datos de pedidos, para identificar el código de pedido de cada pieza.

Por supuesto, la identificación no se debe hacer de forma manual, sobre todo según se vaya aumentando el catálogo de piezas personalizables. Se puede crear una interfaz de usuario (UI) en Google Sheets usando JavaScript. Aquí, se permitirá al operario seleccionar el tipo de pieza (anillo, collar, pulsera...), y a partir de aquí se le enseñarán fotos de cada diseño de anillo para que elija el que corresponde. Por ejemplo, con los dos anillos diseñados, tendría la opción del anillo en forma de muelle o el anillo triangular/rectangular).

En función del anillo elegido, se le presentarán al operario una serie de medidas que debe realizar. En el caso del anillo triangular, se le pediría medir la altura, el diámetro, y la distancia mínima entre las “líneas” del anillo (para determinar si es triangular, trapezoidal o rectangular). Una vez que se tiene toda esta información, y habiendo pre-filtrado la base de datos, se puede usar la función *QUERY* de Google Sheets para encontrar el número de pedido que coincide con esta información. En caso de haber más de uno, se cogerá el primer pedido de la lista

según el orden de recepción del pedido. Para garantizar la coincidencia de los valores, sólo se le permitirá al operario seleccionar valores de un desplegable, para evitar que la imprecisión de la medida o las tolerancias de fabricación eviten la coincidencia. En este paso, además, el operario podrá realizar el control de calidad visual.

Alternativamente a una UI en Google Sheets, se puede usar Google Forms para recolectar los datos por parte del operario. Esto es preferible como interfaz y más sencillo de programar. Se le puede permitir al operario acceder a Forms en la línea de producción por medio de un ordenador o una Tablet. Esto dependerá de lo que tenga implementado el fabricante. Se considera que este tipo de implantación es una forma sencilla de que Singularu pueda lograr una red de proveedores distribuidos sin obligar a cada uno de ellos a invertir en software o hardware avanzado. Además, así no necesitará ceder a los fabricantes acceso a la base de datos en Google Sheets, aunque esto no supondría un problema por estar esta anonimizada.

Este método de identificación es viable para las cantidades que maneja en la actualidad Singularu. Sabiendo que esta compañía vendió en 2019 unas 200.000 joyas, esto implica 800 joyas por día laborable (250 días). Considerando un catálogo de unas 200 joyas distintas, esto implica 4 joyas de cada tipo al día. Considerando que las joyas personalizadas son aproximadamente un 16% del catálogo y estimando que las joyas por MJF fueran la mitad de estas, esto implicaría 64 joyas al día. Adicionalmente, hay que tener en cuenta el modelo distribuido de Singularu. Este número de joyas es relativamente fácil de escalar si se permite la posibilidad de tener múltiples proveedores.

Por parte del proveedor, hay una forma más rápida y automatizada de identificar no sólo las piezas de Singularu sino las de todos los clientes. Consiste en utilizar técnicas de visión artificial para identificar cada pieza a partir del CAD de dicha pieza. Uno de los primeros acercamientos al reconocimiento de objetos basados en un modelo 3D es el basado en características (*features*). Ya en 1985, Henderson, T. et al. desarrollaron un sistema de reconocimiento basado en objetos diseñados por CAGD (*Computer-Aided Geometric Design*)^h (Henderson, T., Hansen, C., Samal, A., Ho, C.C. y Bhanu, B., 1985).

Posterior a esto, Böhm, J. et al. desarrollaron una nueva metodología para la extracción de *features* de un objeto físico y de un modelo CAD de tal forma que se pueda usar este sistema para determinar la orientación de una pieza y llevar a cabo labores de calidad. El acercamiento es parecido al de Henderson, T. et al. en tanto que se centra en la extracción de *features* individuales como esferas, cilindros, etc, pero funciona analizando las superficies

^h Descripción matemática de las formas para su uso en computación.

representadas como su curvatura media (H) y Gaussiana (K) (representado en un espacio HK) (Böhm, J., Brenner, C., Gühring, J. y Fritsch, D., 2000).

Un tercer acercamiento es el uso de los llamados *voxels* (pixels en 3D). Usando *Binvox*, se puede convertir un archivo en formato STL a un formato de *voxels*, pudiendo especificar la resolución de *voxel* que se quiere, lo cual influirá en el tamaño del archivo, pero también en su calidad. Esta debe ser lo suficientemente buena como para diferenciar entre piezas. Adicionalmente, Xu, X. et al. en 2016 desarrollaron una representación de objetos en 3D denominado Volumetric Accelerator (VOLA) por la cual cada *voxel* se representa con un solo bit frente a un byte por *voxel* en el caso de *Binvox*. Esto implica un ahorro de memoria sustancial. Se puede entrenar una red neuronal convolucional (CNN) para identificar objetos a partir del archivo CAD en formato VOLA, y los investigadores encontraron que la CNN basada en VOLA era hasta 1.5 veces más rápida que la red original LeNet. Sugirieron usar una cámara como la Kinect, que representa los objetos físicos en formato RGBD (RGB-Depth), para reconocer objetos en base a ficheros CAD. Esta clasificación se lleva a cabo en un tiempo del orden de 10 ms (Xu, X., Dehghani, A., Corrigan, D., Caulfield, S. y Moloney, D., 2016).

Como prueba de concepto de la viabilidad de la detección de objetos en base a su CAD, se encuentra la compañía Pixel Engineering, una organización de profesionales freelance que ofrece servicios de digitalización para empresas. Uno de sus logros es el uso de un algoritmo propietario para identificar objetos en base a su CAD. El algoritmo calcula además la posición y rotación de los objetos, por lo que se puede usar también para el análisis de calidad de la pieza. Se pueden añadir productos nuevos de forma instantánea sin la necesidad de reentrenar al algoritmo (Pixel Engineering (s.f.)).

Lo recomendable para los fabricantes que quieran agilizar su producción y eliminar errores es trabajar con Pixel Engineering para implantar su algoritmo y permitir la identificación automática de las piezas. Esto permitiría evitar el uso de jaulas en la impresión, con su consecuente ahorro de material, facilitando la clasificación del tipo de post-procesado según pieza. Además, se podría *linkar* la unidad que compute el algoritmo con una máquina etiquetadora que imprima automáticamente la etiqueta del producto cuando lo identifique. Como cámara, se puede usar una del tipo RGBD como la Kinect de Microsoft o una LiDARⁱ como la Intel RealSense L515.

La viabilidad de este proyecto reside en que esta implementación de visión artificial es opcional. Se considera improbable que un proveedor invierta en esta tecnología para el bajo

ⁱ Cámara para determinar la distancia hasta un objeto mediante un láser.

volumen de piezas que maneja Singularu, y más aún si se considera que dicho volumen está distribuido entre varios proveedores. Por lo tanto, esta será una inversión que realizarán aquellos proveedores que, al margen de Singularu, quieran aumentar su producción y reducir costes en la clasificación y el análisis de calidad.

Además de la clasificación de las piezas, otro tema muy importante en el área de la logística es el *Lead Time* (LT) que se puede conseguir con este método de fabricación, particularmente hoy en día que el cliente está acostumbrado a recibir sus pedidos incluso el mismo día que lo piden. En este sentido, se encuentra lo siguiente:

- 3D Hubs: 6 días laborables (78 € de pedido mínimo)
- Shapeways: estándar 15 días laborables; 2,5 \$ para LT 4 días laborables; 15\$ para LT 3 días laborables
- Materialise: 6 días laborables (100€ de pedido mínimo)
- i.materialise: 6 días laborables
- Sculpteo: 5 días laborables (15€ de pedido mínimo)
- Ficep S3: 10-12 días laborables (incluyendo pintado metálico)

Si se compara esto con los actuales LT de Singularu para piezas personalizadas, se puede ver que son de 5-7 días laborables para joyas grabadas y de 7-9 días laborables para joyas de corte. Una pieza de MJF, sin incluir el recubrimiento, se puede fabricar con un LT de 3 días si se está dispuesto a pagar por hacerlo prioritario, pero estos LT sólo los pueden conseguir centros de producción grandes como Shapeways, con fabricación centralizada. La razón de esto es que la tecnología MJF es más económica y productiva cuanto más lleno esté el cubo de piezas. Imprimir una sola pieza en MJF no es eficiente, por lo que muchos proveedores esperarán a tener una cantidad significativa de pedidos antes de iniciar la fabricación. Otros simplemente pondrán un precio mínimo por pedido. Por otro lado, hay que tener en cuenta que el tiempo de envío para las piezas de Shapeways es de mínimo una semana, mientras que un proveedor local puede enviar las piezas mucho más rápido (Singularu envía en 24-48 horas).

Otro factor muy importante a la hora de determinar el LT es la capacidad del propio proveedor. En ocasiones el incremento de LT es únicamente debido a que el proveedor no puede fabricar tan rápido como recibe las órdenes. En este sentido hay que encontrar el punto óptimo entre aumento de capacidad y reducción del tiempo de envío por proveedores distribuidos y el aumento del número de piezas por proveedor para garantizar una reducción del LT.

Se debe tener en cuenta que Singularu, cuando empezó a buscar proveedores, encontró que estos ofrecían un LT excesivamente largo (#65 - *Singularu: Reinventando la joyería con el*

modelo Fast Fashion, 2018). Su modelo de fabricación de series cortas y luego largas en función del éxito de la joya y su venta de joyas personalizadas no funcionarían si no fuera porque trabajaron con los proveedores para cambiar su mentalidad y reducir su LT. Se considera que esto es lo que deben hacer con proveedores como Ficep S3, pues no es lo mismo pedir un par de piezas prototipo que fabricar piezas finales para cliente, dado que las cantidades en el segundo caso son mucho mayores. De hecho, el mismo proveedor ponía como razón de sus bajos precios el hecho de que aprovechan al máximo el volumen de impresión, es decir, que intentan llenar el cubo. Sin embargo, la reducción de LT no llegará al nivel de 4 días laborables (añadiendo el tiempo de pintado) dado que Ficep S3 (al igual que otros proveedores con los que trabaje Singularu), no son un centro de fabricación del tamaño de Shapeways. Sí se considera posible, sin embargo, conseguir 7 días laborables como ofrece 3D Hubs (más el tiempo de pintura), que funciona con una red de proveedores distribuida. Al pedirles varias piezas de distintos clientes, Ficep S3 tendrá suficiente volumen como para que sea rentable iniciar una impresión y se le podrá pedir una reducción del LT y una priorización de las piezas de Singularu.

A partir de aquí, Singularu deberá hacer un estudio de mercado para determinar qué diseños y personalizaciones aportan un valor diferencial a su clientela y hacen que acepten un LT más largo que para una joya estándar. Esto es lo mismo que realizan en la actualidad para sus joyas personalizadas, pero con un abanico de posibilidades y una capacidad de diferenciación mucho mayor.

6.3.1 Sostenibilidad y economía circular

La cuarta revolución industrial ha llegado en un momento en el que la sostenibilidad y la reducción de la generación de residuos y emisiones ya no es una opción, sino una necesidad urgente. Las implementaciones de habilitadores de I4.0 se deben hacer teniendo esto en cuenta para lograr que el sistema de base sea sostenible en vez de tener que hacerlo sostenible a posteriori.

La realidad es que la sostenibilidad no es sólo una necesidad medioambiental, sino también una estrategia de negocio de acuerdo con la demanda actual. Según un estudio de la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU, 2018), el 73% de los encuestados^j “Evitan o prefieren comprar ciertos productos por motivos éticos o de sostenibilidad”. No tener en cuenta la sostenibilidad, particularmente en un ámbito de gran oferta como la joyería, significa perder una cuota significativa de mercado.

^j Encuesta a una muestra representativa de 1.284 personas de la sociedad española.

Lo primero que hay que tener en cuenta a la hora de hablar de sostenibilidad es la localización de la fabricación con respecto al usuario final. Es conveniente que la fabricación suceda lo más cerca posible del usuario final porque trasladar material en bruto es mucho más eficiente que trasladar piezas fabricadas y empaquetadas. En el segundo caso se traslada más aire que producto y por lo tanto se consume la energía para mover un camión sin aprovechar al máximo el ratio de peso producto/vehículo.

Una de las grandes ventajas de la fabricación aditiva es que permite la fabricación distribuida. Dado que a partir de un STL se pueden fabricar copias de un producto en muchas máquinas sin necesidad de ningún factor común, se pueden tener proveedores distintos distribuidos y fabricar a demanda en uno u otro según las peticiones de los clientes. No se necesita preparar un bruto de material como en el caso de la CNC, ni centrar la pieza, y la fabricación de una pieza es compatible con otras piezas que el proveedor tenga que fabricar para otros clientes.

En la actualidad, aunque el modelo de Singluru es tener proveedores distribuidos, esto es sólo para aumentar la capacidad y velocidad de fabricación, dado que todos los proveedores están en Valencia y Cataluña y no distribuidos por todos los países en los que ellos venden. Lo que se propone es cambiar este modelo por uno en el que en función de dónde venga el pedido se haga la orden de fabricación a un proveedor distinto. Esto se puede lograr por medio del ERP, como se mencionaba en el apartado Gestión de pedidos y envío, ya que en Odoo se pueden añadir múltiples fabricantes para el mismo producto y crear una acción programada que seleccione el que se quiera según las reglas que se le programen.

La forma más sencilla de ampliar la red de proveedores para reducir las emisiones y aumentar la capacidad de producción es acudir a los *Digital Innovation Hubs* (DIH). Estos son centros de encuentro para agentes de la industria que les ayudan a hacerse más competitivos por medio de la digitalización. La Unión Europea ofrece la *Smart Specialisation Platform*, donde se pueden encontrar los DIH por región. En la Ilustración 45 se pueden ver los DIH españoles filtrados por su capacidad de brindar soporte en el área de fabricación aditiva. En Barcelona, por ejemplo, se encuentra International Advanced Manufacturing 3D Hub (IAM 3D HUB), especializado en fabricación aditiva y del que HP es partner, al tener su sede para el desarrollo de impresoras 3D en esta zona. Sin duda este es un buen sitio para pedir consejo sobre posibles proveedores de piezas en MJF.



Ilustración 45. DIH España especializados en Fabricación Aditiva. Fuente: Comisión Europea

Una de las corrientes a las que más podría ayudar la industria 4.0 es a la economía circular. La economía circular tiene el objetivo de reducir el uso de materia prima virgen en la medida de lo posible por medio de “reinsertar” los productos usados como materia prima una vez hayan cumplido su función (en lugar de enviarlos a un vertedero). Esta sería una estrategia verdaderamente sostenible, pues no dependería de recursos agotables para mantenerse en funcionamiento.

Lo primero que hay que tener en cuenta es la PA12, material que se va a usar para fabricar los productos. Para empezar, se ha elegido el proceso de fabricación de MJF frente a SLS, por lo que el 80-85% del polvo sobrante tras la impresión es reutilizable sin ningún otro tipo de post-procesado. Adicionalmente, en 2019 HP ha incluido los consumibles de las impresoras 3D dentro de su programa de reciclaje. Esto implica reciclaje gratuito de los cabezales de impresión y contenedores de agente, y polvo reciclable localmente (*Materiales de impresión 3D de HP*, 2019, p. 6).

En lo que se refiere al material en sí, existen varias consideraciones: el excedente de material en polvo que no se puede reutilizar y las piezas finales, tanto con defectos de calidad, y por tanto desechables, como entregadas finalmente a cliente una vez que este ya no las quiera. El proveedor elegido, Ficep S3, tiene ya implementado un proceso para crear hormigón a partir del excedente de polvo (junto con otros residuos de su proceso productivo). Esto implica que su proceso de impresión por MJF produce cero residuos. El hormigón se crea en una máquina que mezcla automáticamente los residuos en las proporciones necesarias y a partir de ahí crea un material arenoso con una resistencia tras el proceso formativo del 90% de la

del cemento en esa misma forma. Este hormigón está en vías de ser lanzado al mercado (*Project BCN, hormigón sostenible creado con los residuos que genera la impresión 3D*, 2018).

Respecto a las piezas finales, con defectos o sin ellos, HP está trabajando con su partner Smile Direct Club para fabricar moldes de alineadores dentales con MJF. Dentro de esta colaboración, HP será el encargado de reciclar los moldes impresos una vez ya no hagan falta para convertirlos en pellets para el proceso de moldeo por inyección. Esto es parte del programa piloto de HP de reciclado de piezas de MJF, pero se espera que expandan este programa para acoger a otros miembros de la industria dentro de su estrategia de economía circular (Harztell, 2019). Esto permitirá a Ficep S3 reciclar las piezas fallidas, pero también permitirá que aquellos consumidores que ya no quieran su joya (p. ej. en el caso de que se rompiese o no consiguieran venderla a un segundo usuario) la reciclen. Por supuesto, esto requerirá una fuerte campaña de concienciación que no va a impulsar exclusivamente Singularu, quien tampoco se encargará de la logística de la recogida de piezas, cosa que está desarrollando HP. Sin embargo, Singularu sí deberá encargarse de informar a sus usuarios de la posibilidad de dicho reciclaje una vez que la estrategia esté implantada por medio de información adjunta al envío de la joya y en la página web (ya que se considera improbable que el usuario guarde la información física toda la vida de la joya).

Una vez se ha analizado el ciclo de vida de la joya en sí, se debe prestar atención al embalaje utilizado para el envío. Este es el ámbito en el que Singularu tiene mayor margen de mejora. En la actualidad, Singularu envía sólo pedidos por un valor superior a 15€. Esto seguramente tenga que ver con asuntos internos de logística, pero también debe estar relacionado con lo innecesariamente voluminoso que es su embalaje. En la Ilustración 46 se puede ver el embalaje actual de Singularu junto con el producto pedido (un anillo). Como se puede apreciar, el embalaje consiste en una serie de cajas y bolsas. Esto, además, se envía dentro de una bolsa de plástico gris adicional en la que pone la dirección de envío y que protege el elaborado embalaje.



Ilustración 46. Embalaje actual Singularu y joya (anillo). Fuente: Elaboración propia

Sin duda Singularu considera que este embalaje es un elemento diferencial, y es cierto que es un embalaje muy cuidado estéticamente. Sin embargo, el embalaje excesivo no es la mejor forma de diferenciarse. Por ejemplo, se puede comparar este embalaje con el de una diseñadora que vende sus joyas por Etsy,^(k) Beatriz Sierra, con su tienda valenciana Ohana Jewels. Dicho embalaje se puede ver en la Ilustración 47, junto con el anillo. Este embalaje vino dentro de una bolsa con la dirección de envío, al igual que Singularu. Sin embargo, no sólo es el material utilizado mucho menor, sino que la cantidad de aire que mueve el transportista es mucho menor. Además, es mucho más personal gracias a la nota de agradecimiento.



Ilustración 47. Embalaje anillo Ohana Jewels. Fuente: elaboración propia

^k Plataforma de venta de productos artesanales

Sin duda el volumen de negocio es mucho menor en el segundo caso, y Singularu no podría permitirse escribir a mano una nota de agradecimiento a cada clienta, pero sí que podría perfectamente imprimir una nota con un breve agradecimiento. Esto es mucho más personal y diferencial que el actual *packaging*. En esta misma nota, se puede incluir por el otro lado la información sobre reciclaje tanto de la joya como del embalaje (ver a continuación).

Una cosa de la que no se puede prescindir es del embalaje exterior que protege la joya y contiene los datos de envío. Es cierto que esta bolsa se podría hacer simplemente de plástico reciclable, pero se considera que hay una solución más sostenible que es el *packaging* reutilizable. Esto se puede conseguir gracias a la empresa RePack. RePack es una compañía que hace *packaging* reutilizable (y de materiales 100% reciclados). En la Ilustración 48 se puede ver el ciclo que sigue el embalaje: RePack lo envía al proveedor del e-commerce; este lo usa para embalar los productos y los manda al cliente; el cliente puede echar el embalaje en cualquier buzón del mundo; al llegar dicho embalaje al centro de RePack, el cliente recibe un “premio” (descuentos, ofertas, etc), fomentando la recompra en el mismo comercio; finalmente, RePack se encarga de revisar y limpiar el embalaje para volverlo a introducir en el mercado.



Ilustración 48. Ciclo de RePack. Fuente: RePack, s.f.

También es conveniente proporcionar una pequeña caja para proteger la joya de los elementos, dar mayor apariencia de calidad y proporcionar un sitio donde guardar la joya cuando no esté en uso en caso de que sea necesario. Se considera que no incluir esto podría impactar negativamente la experiencia del cliente (*Out Of Box Experience*, OOBEx). Dadas las

características de dichas cajas, no se considera viable hacerlas reutilizables, ya que tendrán el propio branding de Singularu y no se pueden reutilizar entre varias empresas. Por ello, se considera que se debe reducir el impacto en la medida de lo posible por medio de usar cajas de materiales reciclados y 100% reciclables. Así se encuentra la empresa TinyBox, que fabrica embalajes con dichas características, ofreciendo además la posibilidad de pintar la caja con el branding particular de la empresa.

Se puede ver un resumen de la estrategia de sostenibilidad en la Ilustración 49. Sin duda no incluye todos los procesos involucrados en la fabricación de las joyas personalizadas, pero es un acercamiento inicial razonablemente completo para el nivel de detalle de este proyecto.



Ilustración 49. Estrategia de sostenibilidad. Fuente: elaboración propia

Por último, a la estrategia de sostenibilidad hay que añadir una explicación de la elección de localización para la máquina virtual (ver POC del CAD). Esta elección se ha hecho teniendo en cuenta el porcentaje real de energía del país producida por renovables. Dentro de las opciones ofrecidas por cada plataforma, se ha elegido el país europeo (por cercanía geográfica) con mayor porcentaje, puesto que los centros de datos requieren una gran cantidad de electricidad y se considera necesario que esta proceda, en la medida de lo posible, de fuentes renovables. Los datos se han obtenido de Datos Mundial (s.f.), la cuál obtiene sus datos de la Oficina de Asuntos Públicos de los EE. UU. (CIA). En concreto los

países elegidos para el análisis tuvieron porcentajes de generación por renovables reales en 2015 de 57.8% (Noruega, Azure, máquina elegida), 53.2% (Suecia, AWS EC2) y 43.2% (Finlandia, Google CE). Se puede ver que estos porcentajes son bastante estables a lo largo del tiempo, por lo que se espera que se mantengan. La máquina virtual elegida tiene el mayor porcentaje de renovables de las tres, por lo que se espera un importante ahorro de emisiones de CO₂.

Es cierto que la elección de máquinas virtuales supone un incremento de coste con respecto a máquinas en otros países como Francia, con menor porcentaje de renovables (13.5%), pero este es de un orden de magnitud de 10\$ al mes, lo que supone 120\$ anuales. Esto es algo completamente asumible a cambio de la reducción de emisiones.

6.4 Presupuesto y plan de implantación

Para comprobar la viabilidad del proyecto, es necesario realizar un presupuesto. Primero se estimarán los costes y tiempos de implantación de la solución. Después se detallarán los costes operativos del nuevo proceso.

Antes de detallar los costes y tiempos de implantación, se deben describir los recursos necesarios para dicha implantación. En la Ilustración 50 se puede ver cómo quedará el proceso de customización tras la implantación de la nueva estrategia.

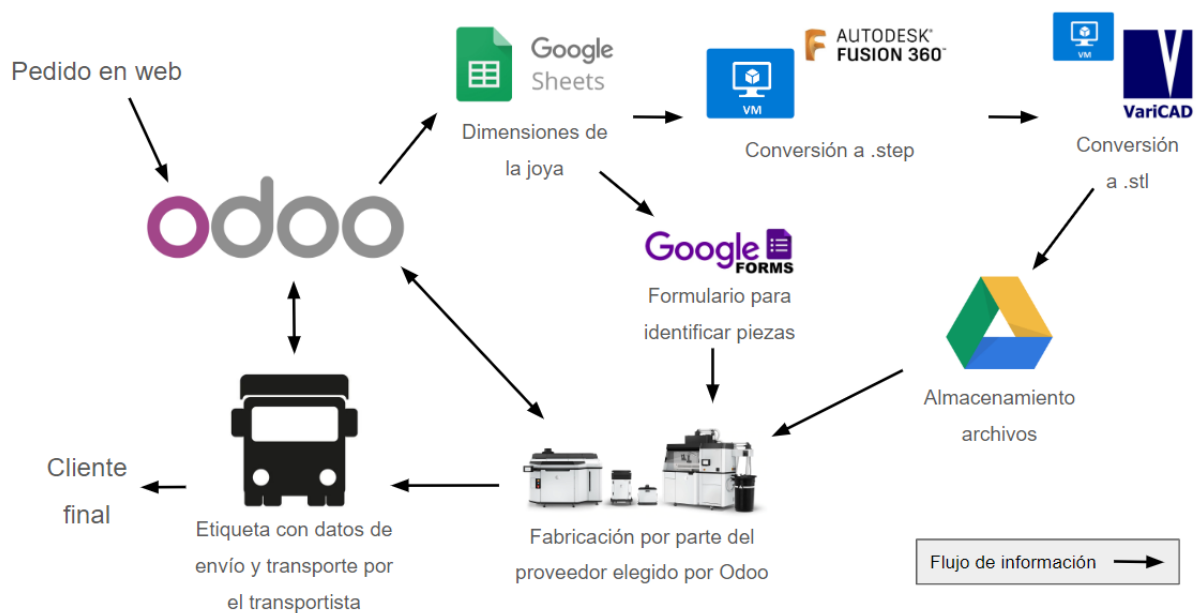


Ilustración 50. Proceso de customización. Fuente: elaboración propia

En base a esto, el plan de recursos humanos se resume en:

- Nuevas funciones o puestos de trabajo:
 - Diseñador CAD
 - Programador: Odoo, automatización de la conversión a STL, Google forms
- Eliminación de funciones:
 - Gestión Shopify y Zendesk, y su integración
- Subcontratación (implantación):
 - Programador
 - Consultor digital
 - Pixel Engineering (visión artificial – opcional según fabricante)
- Subcontratación (nuevo proceso):
 - Fabricación (nuevos proveedores)
 - Envío (nueva logística de empaquetado)
- Formación:

- Formar usuarios ERP en uso de Odoo
- Formar empleados de análisis de mercado en customización en masa

Se considera que la mejor metodología para la implantación del proyecto es Agile – Scrum. Se debe implantar el proyecto mediante *sprints* iterativos que se dividirán en los siguientes pasos (Cibernos (s.f.)):

1. Planificación del sprint (reunión)
2. Sprint (el trabajo de desarrollo en sí)
3. Demo y retrospectiva (reunión – demostración y *feedback*)

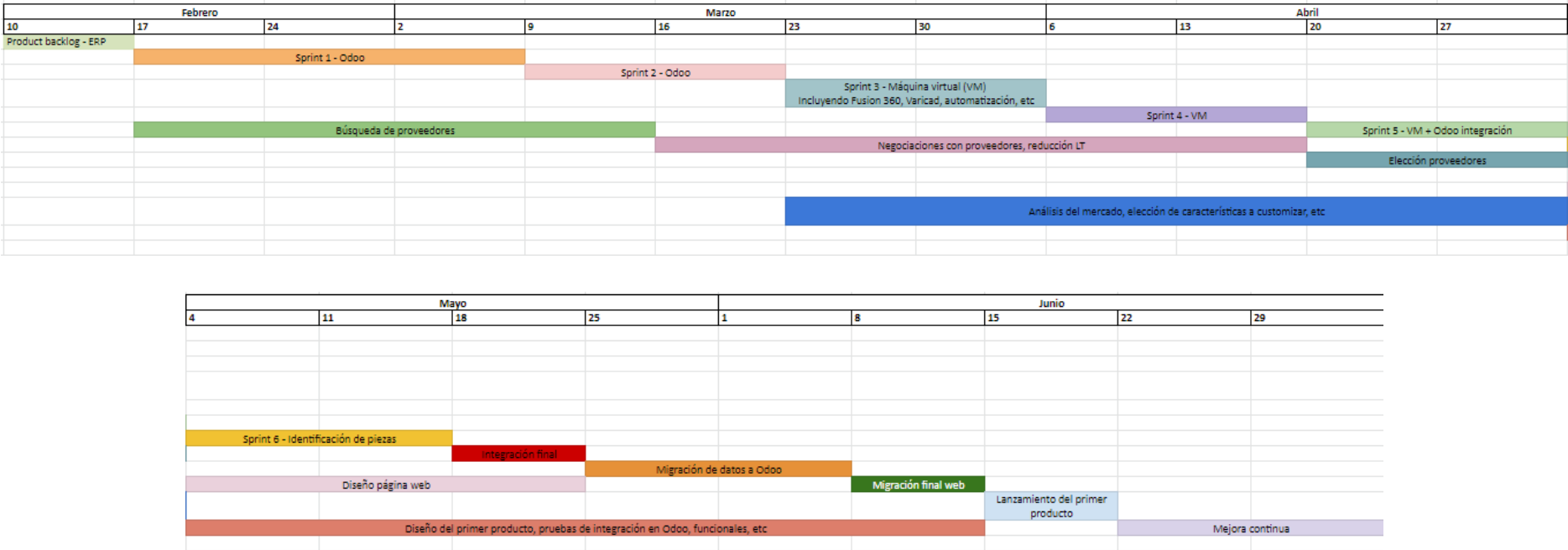
En la Tabla 8, se puede ver un resumen del plan de implementación para la solución de customización en masa. En base a esto, en la Tabla 7 se pueden ver los costes de implantación del nuevo proceso. En el “Anexo 3: Cálculo costes” se puede ver el detalle de los cálculos realizados.

Tabla 7. Costes de implantación customización en masa

Costes implantación customización en masa				
Categoría	Desglose	Coste Unitario	Coste Total	Explicación
Proceso contratación	Diseñador	-	1.000,00 €	Coste por proceso
	Programador	-	1.500,00 €	Coste por proceso
	Total Contratación	-	2.500,00 €	
Subcontratación	Programador	50,00 €	50,00 €	Coste por hora
	Consultoría digital	40,00 €	40,00 €	Coste por hora
	Total Subcontratación	-	34.600,00 €	
Formación	Odoo	-	70,00 €	Coste por hora (uso de Odoo)
	Marketing	15,00 €	45,00 €	Coste por hora (análisis de mercado cust. masa)
	Total Formación	-	780,00 €	
Personal	Programador	30,00 €	30,00 €	Coste por hora (programación, migración datos)
	Diseñador	15,00 €	15,00 €	Coste por hora (diseño)
	Supply chain	20,00 €	40,00 €	Coste por hora (búsqueda proveedor, negociaciones)
	Marketing	20,00 €	40,00 €	Coste por hora (análisis merc., dis. web, lanzamiento)
	Total Personal	-	57.600,00 €	
Total Implantación			95.480,00 €	

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Plan de implantación



Fuente: elaboración propia

Tras la implantación del nuevo proceso, se necesitará por lo menos una licencia de Fusion 360. Se considera que dos son suficientes para Singularu, dado que el modelado de estas joyas es relativamente sencillo una vez que se tiene el diseño conceptual. Una de las licencias se usará en la máquina virtual, aunque el diseñador la podrá usar en la misma máquina virtual mientras no se estén realizando las conversiones. Al coste de la licencia CAD se deberá añadir el coste de la máquina virtual en sí.

En lo que al ERP (Odoo) se refiere, el coste de todas las apps seleccionadas sería de 112,5€/mes. Además, a esto se debe añadir el coste por cada usuario, entendiendo por usuario a cualquier empleado que tenga que acceder a Odoo para cualquier acción. Se considera que 15 cuentas de acceso serán suficientes para gestionar todos los accesos necesarios, lo que implica 187,5€/mes tras el descuento de Odoo por usuarios iniciales, es decir, un total de 300€/mes de coste de ERP.

Elija el número de usuarios

15 Usuarios 15,00 EUR 12,50 EUR/usuario/mes

Elija sus Aplicaciones

CRM	Invoicing	Sales
15,00 EUR / mes	7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes
Website	eCommerce	Point of Sale
15,00 EUR / mes	7,50 EUR / mes	15,00 EUR / mes
Accounting	Project	Inventory
15,00 EUR / mes	15,00 EUR / mes	22,50 EUR / mes
Manufacturing	Purchase	Timesheets
30,00 EUR / mes	7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes
Email Marketing	Expenses	Events
7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes
Time Off	Recruitment	Appraisal
7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes	7,50 EUR / mes
Subscriptions	Sign	Maintenance
15,00 EUR / mes	15,00 EUR / mes	15,00 EUR / mes

Anualmente Mensual

15 Usuarios	225,00 EUR
Descuento para usuarios ⁽¹⁾	-37,50 EUR
8 Aplicaciones	112,50 EUR
Total / mes	300,00 EUR

PRUEBE AHORA
Prueba gratuita de 15 días

COMPRE AHORA

⁽¹⁾ Los nuevos clientes obtienen un descuento en la cantidad inicial de usuarios adquiridos. (12,50 EUR en lugar de 15,00 EUR).

Ilustración 51. Coste mensual ERP. Fuente: elaboración propia

Con la nueva implementación, también habrá una serie de aplicaciones que se podrán eliminar. Para empezar, se podrá cancelar la cuenta de Shopify. Se intuye que Singularu seguramente use la cuenta del tipo *Shopify*, por 79\$/mes, ya que este tipo de cuenta incluye informes avanzados, que son de vital importancia para el modelo de negocio de Singularu, en el que basan la fabricación en el éxito de los productos. Por otro lado, Zendesk tampoco será necesario, ya que el Helpdesk estará incorporado en Odoo. Singularu tiene varios tipos de formularios de ticket en su página web, por lo que se puede deducir que tienen la cuenta de tipo *Enterprise*, por 99€/agente/mes.

Se puede comparar la diferencia de costes mensuales en la Ilustración 52, que supone un incremento en los costes mensuales de 200€.

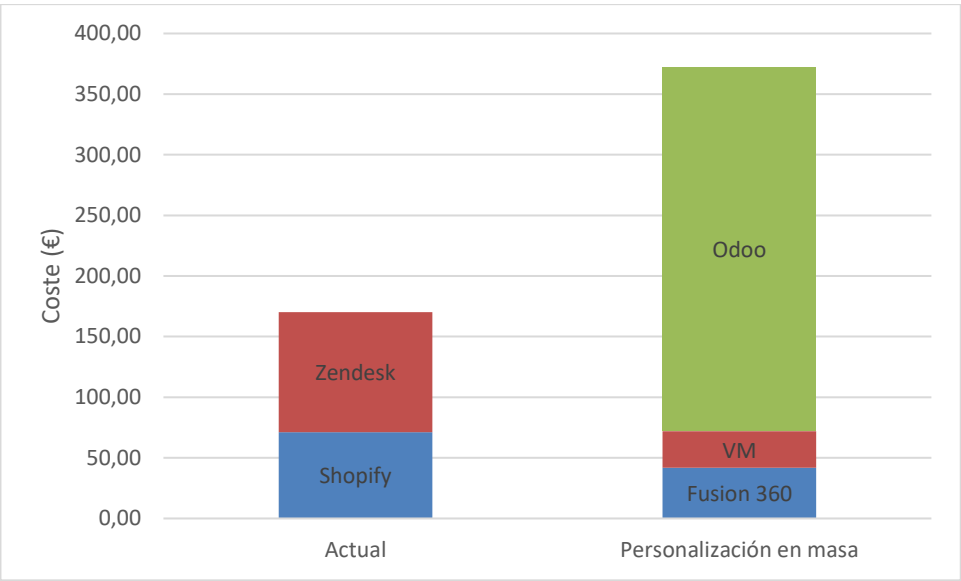


Ilustración 52. Costes mensuales actuales y con la personalización en masa. Fuente: elaboración propia

Teniendo esto en cuenta, se pueden calcular los costes del proceso nuevo, los cuales se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Costes anuales del nuevo proceso

Coste Proceso nuevo				
Categoría	Desglose	Coste Unitario	Coste Total	Explicación
Personal	Diseñador CAD	15,00 €	15,00 €	Coste por hora
	Programador	30,00 €	30,00 €	Coste por hora
	Total Personal	-	90.000,00 €	Coste por año
Software	Odoo	-	300,00 €	Coste mensual
	Fusion 360	-	83,67 €	Coste mensual
	VM	-	30,17 €	Coste mensual
	Estimación total	-	4.966,04 €	Coste por año
Total Proceso nuevo			94.966,04 €	Coste por año

Fuente: elaboración propia

Respecto al producto en sí, se hará un ejemplo con un anillo de los costes que podría tener una pieza de MJF. Como se ha visto, el coste del anillo de prueba es de 0,92€. Es importante que este coste sea mucho menor que el precio de venta, ya que Singularu pone en marcha campañas de rebajas constantes (hay descuentos constantes en gran parte del catálogo del 25%). Por otra parte, la caja de joyas de TinyBox se puede conseguir por 0,36€ (al pedir una cantidad de 1.000). En cuanto a RePack, la mayoría de las empresas lo cobran a 3,5€ (aunque algunas como Finlayson lo ofrecen por 1,7€). El coste total serían 4,78€. Si se considera que esto es un 40% del precio de venta, y que los costes de logística son un 20% del precio, se puede ver en la Ilustración 53 que se obtendría un margen de 40% por un precio de venta menor a 12€.

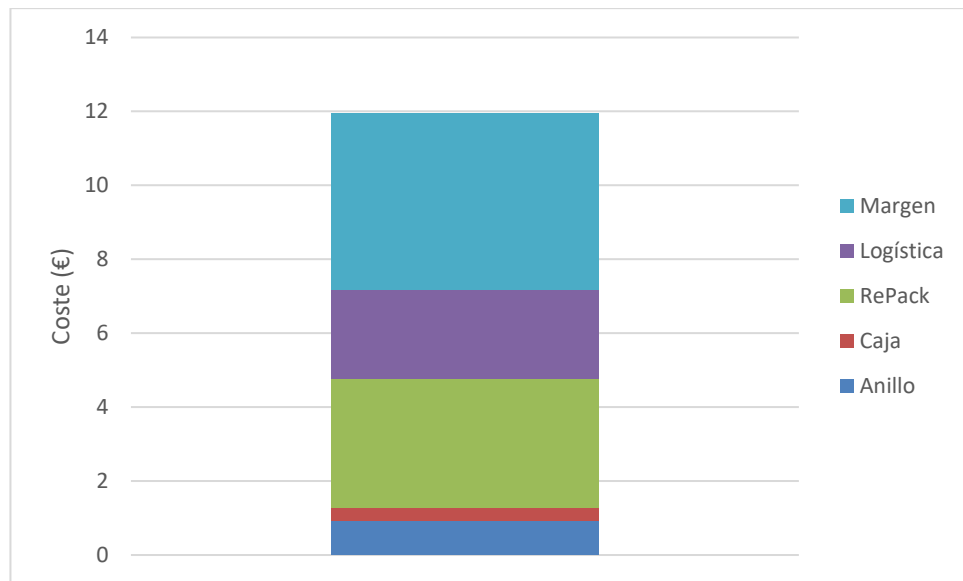


Ilustración 53. Distribución de costes y precio de venta. Fuente: elaboración propia

Es cierto que el nuevo proceso implica una inversión inicial significativa, además de un incremento de los costes anuales. Sin embargo, hay que destacar que una parte importante de estos costes se ve absorbido por todas las áreas de Singularu, no sólo el área de personalización. El ERP beneficia a todo el proceso, y de hecho es parte del plan de Singularu. El coste del ERP más el salario de su programador suponen más de dos tercios del proceso nuevo (63.600€).

Por otro lado, teniendo en cuenta que entre el 41 y el 45% de consumidores entre 16 y 39 años expresaron su interés por comprar joyería personalizada y que el “48% estaban dispuestos a esperar más por el envío de un producto personalizado” (Deloitte, 2015), se considera que la implantación de este nuevo proceso y tipo de joya ayudará a Singularu a incrementar sus ventas más allá de los 7 millones de euros que se pusieron como objetivo para el 2019. Se considera que este proceso de implantación y los costes del nuevo proceso son por tanto asumibles por Singularu.

7 Conclusiones

En la introducción de este trabajo se describe el efecto que la fabricación en masa ha tenido sobre la capacidad de decisión del usuario. Se menciona que la estandarización ha permitido hacer accesibles numerosos productos, pero que hay demanda por parte de los usuarios de recuperar el control de las decisiones de consumo. Esto se ha visto demostrado por el estudio de mercado de Deloitte sobre este tema (2015). Sin embargo, el análisis del estado del arte ha mostrado que las soluciones de customización en masa están lideradas por grandes empresas y con una oferta de productos de altos precios con respecto a la estándar y muy focalizada en un único diseño/tipo de producto.

Esto proyecto se planteaba usar habilitadores de la industria 4.0, con particular foco en la fabricación aditiva, para permitir a las PYMEs, que componen la mayor parte del tejido industrial español, desarrollar una estrategia de customización en masa. Esta estrategia se ha conseguido desarrollar usando tecnologías disponibles en la actualidad y de la forma más económica posible. En concreto, las contribuciones más importantes de este proyecto son:

1. Un método de actualización del CAD transversal a múltiples diseños
2. La integración horizontal entre varios sistemas para automatizar la customización
3. Varias formas de identificar piezas personalizadas en función de la capacidad del fabricante
4. Una estrategia de fabricación teniendo en cuenta la sostenibilidad y economía circular

Gracias a estas contribuciones, se han alcanzado los objetivos específicos de este proyecto en la siguiente medida:

-Objetivo 1: Automatizar en la medida de lo posible el proceso. Este objetivo se considera alcanzado. Como se detalla en el apartado de POC del CAD, el proceso de generación del archivo customizado y su conversión a STL es completamente automatizable en una máquina virtual. Además, como se muestra en el apartado Gestión de pedidos y envío, la orden de trabajo se puede pedir automáticamente al proveedor más cercano al cliente, y dicho proveedor podrá acceder al archivo STL en la nube. Aún no es automatizable la preparación de la impresión, ya que requiere de la experiencia humana, y partes del proceso de fabricación como la eliminación del polvo sobrante tras la impresión no son susceptibles de automatizarse. La identificación de piezas puede automatizarse en mayor o menor medida en función de la capacidad del fabricante.

-Objetivo 2: Garantizar la calidad de las piezas y su entrega al cliente correcto. Como se muestra en el apartado La fabricación, las piezas se fabricarán por medio del proceso MultiJet

Fusion, el cuál produce piezas isotrópicas. Se ha detallado también un proceso de identificación de piezas por medio de Google Forms (manual) o un proceso automatizado por medio de visión artificial para los proveedores con mayor capacidad. Este proceso de identificación coincide con el punto en el que se hace el análisis de calidad.

-Objetivo 3: Reducir el impacto medioambiental. Tal y como se muestra en el apartado de Sostenibilidad y economía circular, se ha realizado un análisis de los pasos involucrados en el nuevo proceso para reducir su impacto medioambiental. Se ha elegido un proceso de fabricación que produce menos residuos que la otra opción equivalente (MJF vs SLS), y el proveedor produce cero residuos con este proceso, usando el polvo sobrante para producir cemento. Se ha rediseñado el packaging para reducirlo y hacerlo reciclado y reciclable/reutilizable). Se ha elegido un emplazamiento para la máquina virtual en función de la producción de electricidad por renovables en dicho emplazamiento.

-Objetivo 4: Agilizar el *time to market* del producto. Gracias al proceso de diseño basado en tablas de diseño, se pueden generar rápidamente diseños nuevos sin necesidad de reprogramar el modelo, lo cuál reduce el tiempo de diseño. Además, la fabricación aditiva elimina la necesidad de moldes y agiliza el proceso de prototipado.

-Objetivo 5: Reducir el *Lead Time*. Con el proveedor actual elegido, no se ha podido reducir el LT. Sin embargo, como se menciona en el apartado de *La fabricación*, se considera posible reducir el LT ofrecido por el proveedor aumentando el número de piezas pedidas. Hay grandes proveedores ofreciendo un LT menor a 9 días, incluyendo 3D Hubs (6 días), que tiene una red de proveedores distribuida en vez de localizada. Sin embargo, no se considera posible reducir el LT hasta el punto de igualar las joyas estándar. La máxima reducción del LT se considera que sería de 7 días. Este objetivo se ha alcanzado, por tanto, parcialmente.

Se puede considerar, en conclusión, que el objetivo general de este proyecto, definir la tecnología y estrategia que permitan a una PYME fabricar productos personalizados en masa de forma rentable apoyándose en habilitadores de la industria 4.0, ha sido alcanzado. Como se puede ver en el apartado de Presupuesto y plan de implantación, los costes de implantación y del nuevo proceso son asumibles por una PYME del tamaño de Singularu. La estrategia es además escalable gracias al uso de una red de proveedores distribuida y de tecnologías como las máquinas virtuales.

En base a este trabajo, existen líneas de trabajo futuras. Primeramente, existen posibilidades en cuanto al proceso de fabricación. Se descartaron en este trabajo dos procesos de fabricación para las joyas: impresión directa en metal e impresión del molde de cera para

fundición con molde perdido. Estos procesos se descartaron porque en la actualidad son demasiado caros como para permitir precios de venta como los que ofrece Singularu. Sin embargo, se considera posible que en un futuro próximo el precio de la fundición se reduzca lo suficiente como para que sea rentable fabricar piezas por este método. El proveedor Ficep S3, al preguntarle al respecto, comentaba que estaba en proceso de buscar una máquina para impresión de cera que permitiría este proceso. Esto permitiría a Singularu fabricar joyas metálicas a precios asequibles.

Otra línea de trabajo sería el desarrollo de las tecnologías de visión artificial. Se puede desarrollar un programa para esto de tal forma que la implementación del reconocimiento en base al CAD fuera estándar y sencilla para todos los proveedores de piezas 3D por procesos como SLS. Esto evitaría tener que desarrollar una solución *ad hoc* para cada proveedor.

Por último, la línea más importante de trabajo futuro es la reducción del LT de piezas impresas en 3D. Esto pasa por mejorar las tecnologías de fabricación, reduciendo en la medida de lo posible las partes del proceso innecesarias, pero también se reducirá según aumente la necesidad de estas piezas para consumo final y no sólo para prototipos. Esto permitirá tener producción continua y reducir el tiempo de espera hasta tener suficientes piezas para llenar un cubo.

Aunque la estrategia de este proyecto se ha desarrollado específicamente para Singularu, esta es fácilmente aplicable a cualquier otra empresa de tamaño parecido. Esto no se refiere sólo al sector de la joyería. Por similitud de piezas y teniendo en cuenta el estudio de mercado de Deloitte, se puede aplicar al sector de la decoración, aunque en este caso el espacio de soluciones debe permitir mayor libertad al usuario que en el caso de la joyería. Los mercados de ropa y zapatería también podrían beneficiarse de esta estrategia para la impresión de pequeños detalles decorativos.

Sin embargo, antes de implementar esta estrategia se debe considerar:

1. Que la empresa tenga suficientes ingresos para costear el ERP
2. Que la empresa tenga un volumen de negocio que justifique la customización en masa
3. Que la customización en masa tenga sentido según el modelo de negocio y la estrategia de la empresa

Estas tres condiciones se cumplen para Singularu. Por esto, la estrategia le aporta beneficios. Permite aumentar el catálogo de joyas customizadas, reducir el *time to market* y reducir el coste de fabricación de las joyas customizadas para igualarlo con el de las joyas estándar. Gracias a los habilitadores de la industria 4.0, Singularu aumentará sus ventas, automatizará

la gestión y aumentará su cuota de mercado. Esta es la aportación que este proyecto ofrecerá a la empresa en la que se implante la estrategia.

8 Referencias bibliográficas

#65 - *Singularu: Reinventando la joyería con el modelo Fast Fashion*. EnDigital. (2018). [Video] YouTube.

3DSMAN (s.f.) *Catia pricing*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019 de <https://3dsman.com/catia-pricing/>

Arroyo-Gutiérrez, L.M. y Jiménez-Partearroyo, M. (2013). La personalización en masa en el marco de la estrategia competitiva de la empresa. *Dirección y Organización*, 49, 44-53

Autodesk (2017). *Script/API to change parameter and then export as STL*. Mensaje publicado en <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-api-and-scripts/script-api-to-change-parameter-and-then-export-as-stl/td-p/7038013>

Autodesk (2018). Autodesk® Fusion 360 Security Whitepaper. *Trust Autodesk*.

Autodesk (s.f.) *Fusion 360*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019 de <https://www.autodesk.es/products/fusion-360/subscribe?referrer=%2Fproducts%2Ffusion-360%2Fsubscribe&plc=F360&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1#>

Autodesk (s.f.) *Inventor*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019 de <https://www.autodesk.es/products/inventor/subscribe?plc=INVPROSA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>

Axesor (s.f.) *Singularu ideas a medida*. Recuperado el 3 de noviembre de 2019 de expansion.com/directorio-empresas/singularu-ideas-a-medida-sociedad-limitada_8059179_G59_46.html

Bensinger, G. (2015). When drones aren't enough, Amazon envisions trucks with 3D printers. *The Wall Street Journal*. Recuperado de <https://blogs.wsj.com/digits/2015/02/26/when-drones-arent-enough-amazon-envisions-trucks-with-3d-printers/>

BMW (s.f.) *Mini preguntas frecuentes*. Recuperado el 14 de octubre de 2019 de https://yours-customised.mini/yourscustomised/es_ES/content/preguntas-frecuentes

BMW (s.f.) *Mini yours customized*. Recuperado el 14 de octubre de 2019 de https://yours-customised.mini/INTERSHOP/web/WFS/MINI-CUPA-Site/en_GB/-/EUR/ViewApplication-SwitchLocale?SKU=&CategoryName=&CatalogID=&PEPID=&LocaleID=es_ES#app/es/home

Böhm, J., Brenner, C., Gühring, J. y Fritsch, D., 2000. *Automated Extraction of Features from CAD Models for 3D Object Recognition*. Universidad de Stuttgart. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jan_Boehm/publication/236669677_Automated_Extraction_of_Features_from_CAD_Models_for_3D_Object_Recognition/links/02e7e518cf7390377a000000/Automated-Extraction-of-Features-from-CAD-Models-for-3D-Object-Recognition.pdf

Bournias, A. (s.f.). HP MJF vs. SLS: A 3D Printing Technology Comparison. *3D hubs*. Recuperado de <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/hp-mjf-vs-sls-3d-printing-technology-comparison/#what>

Caron, C., Ju, A. y McCutcheon, J., 2019. *Designing for HP Multi Jet Fusion: 10 Tips You Need to Know*. HP. Recuperado de <https://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/c06431215.pdf>

Cibernos (s.f.) *Metodologías de implementación de un ERP*. Recuperado el 19 de enero de 2020 de <https://www.cibernos.com/blog/business-process-management/metodologia-implementacion>

Cimworks (s.f.) *Tabla de precios de SolidWorks*. Recuperado el 10 de noviembre de 2019 de <https://www.cimworks.es/precios-solidworks/>

Comisión Europea (s.f.) *Digital Innovation Hubs*. Recuperado el 15 de enero de 2020 de <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/digital-innovation-hubs>

Crea tu joya (s.f.) *Crea tu joya*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de <https://creatujoya.com/joyas-personalizadas?page=5>

Cuchicuchi (s.f.) *Cuchicuchi*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de <https://www.cuchicuchi.es/joyas-personalizadas/>

Customima (s.f.) *Customima*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de <https://www.customima.com/producto/pulsera-little-bohemia-circle/>

Chakravorty, D. (2019). 2019 Most Common 3D Printer File Formats. *All3dp*. Recuperado de <https://all3dp.com/3d-printing-file-formats/>

DatosMundial (s.f.). *DatosMundial*. Recuperado el 9 de enero de 2020 de <https://www.datosmundial.com/europa/index.php>

Deloitte (2015). Made-to-order: the rise of mass personalization. *The Deloitte Consumer Review*, 11

Dime que me quieres (s.f.) *Dime que me quieres*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de https://dimequemequieres.net/es/pulseras/1503-pulsera-chain-amelie-bano-de-oro.html#/tipo_de_letra-l1

Ecommerce Tour Valencia 19 - Case Study: Singularu. EcommerceNewsTV. (2019). [Video] YouTube.

Emipro (s.f.). *Emipro shop*. Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de <https://shop.emiprotechnologies.com/shopify-odoo-connector.html>

Emipro (s.f.). *Odoo app shop*. Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de https://apps.odoo.com/apps/modules/12.0/shopify_ept/

eos (s.f.). *eos M80*. Recuperado el 15 de diciembre de 2019 de <https://www.eos.info/precious-m-080>

Eurecat (s.f.) *Fabricación masiva de productos 3D personalizados*. Recuperado el 14 de octubre de 2019 de <https://eurecat.org/es/fabricacion-masiva-de-productos-3d-personalizados/>

Ficep S3 (2018). Project BCN, hormigón sostenible creado con los residuos que genera la impresión 3D. *Noticias Ficep S3*. Recuperado de <http://ficeps3.com/project-bcn-hormigon-sostenible-creado-con-los-residuos-que-genera-la-impresion-3d/>

Finances online (s.f.). *FinancesOnline*. Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de <https://comparisons.financesonline.com/odoo-vs-erpNext>

HADA (s.f.). HADA - Informe de autodiagnóstico para la evaluación de la madurez digital. *HADA – Industria 4.0 Conectada*. Recuperado de <https://www.industriassanla.es/images/pdfs/informe-HADA.pdf>

Hartzell, N. (2019). HP and Smile Direct Club Collaborate on Largest Multi Jet Fusion 3D Production Factory in the U.S. *HP Press Center*. Recuperado de <https://press.ext.hp.com/us/en/press-releases/2019/hp-and-smile-direct-club-collaborate-on-largest-multi-jet-fusion-3d-production-factory-in-the-us.html>

Henderson, T., Hansen, C., Samal, A., Ho, C.C. y Bhanu, B., 1985. *CAGD Based 3-D Visual Recognition*. Universidad de Utah. Recuperado de <http://www.cs.utah.edu/~tch/publications/pub46.pdf>

Hilderbrand & Cie SA (s.f.). *Hilderbrand & Cie SA*. Recuperado el 22 de noviembre de 2019 de

https://www.hilderbrand.ch/?Applications___Laser_Metal_Fusion_%2F_Selective_Laser_Melting

HP (2019). *Materiales de impresión 3D de HP*. HP, p. 6. Recuperado de <https://www8.hp.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=4AA7-1533ESE>

Indeed (s.f.) *Indeed salarios*. Recuperado el 10 de enero de 2020 de <https://www.indeed.es/salaries?from=gnav-homepage>

Kinsey, G. (2015). "Con la Industria 4.0 pasaremos de la producción en masa a la customización en masa". *El Mundo Economía*. Recuperado de <https://www.elmundo.es/economia/2015/07/31/55bb5fec46163fe6658b4586.html>

Ly, A. (2019). Open-Source ERP Software: Benefits, Challenges and Top Vendors. *Betterbuys*. Recuperado de <https://www.betterbuys.com/erp/open-source-erp/>

Matisons, M. (2015). UK Retail Giant, Argos, Offers Customizable 3D Printed Jewellery Line. *3D print*. Recuperado de <https://3dprint.com/51419/argos-3d-print-jewelry/>

Mendoza, H.R. (2015). ASDA Supermarket Brings 3D Printed Mini-Mes to 10 Stores in the UK. *3D print*. Recuperado de <https://3dprint.com/69089/10-asda-stores-3d-scanners/>

MG Atelier (s.f.) *MG Aterlier*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de <https://www.mg-atelier.com/collections/pulseras-personalizadas>

Nike (s.f.). *Nike by you*. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://nike.com/es/nike-by-you>

Nike (s.f.). *Nike news*. Recuperado el 10 de octubre de 2019 de <https://news.nike.com/news/shelly-ann-fraser-pryce-track-spike>

O'Toole, J. (2014). Amazon launches 3-D printing store. *Money CNN*. Recuperado de <https://money.cnn.com/2014/07/29/technology/innovationnation/amazon-3d-printing/>

OCU (2018). Otro consumo para un futuro mejor. *OCU*. Recuperado de <https://www.ocu.org/otro-consumo-futuro-mejor>

Optimus information (s.f.). Open-Source vs. Proprietary Software Pros and Cons White paper. *Optimus information*.

Pastor, E. (2019). La firma valenciana de joyería Singularu continúa su expansión física y prepara la llegada a México. *valenciaPlaza*. Recuperado de <https://valenciaplaza.com/la->

firma-valenciana-de-joyeria-singularu-continua-su-expansion-fisica-y-prepara-la-llegada-a-mexico

Pine II, B.J. (1993). *Mass customization: the new frontier of business competition*. Boston: HBS Press

Pixel Engineering (s.f.). *Pixel Engineering*. Recuperado el 15 de enero de 2020 de <http://www.pixelengineering.nl/>

Progol3D (s.f.). *Progol3D*. Recuperado el 22 de noviembre de 2019 de <https://www.progol3d.com/directPrinting#process>

Rainsberry, P. (2019). *Github FusionSheeter*. Recuperado el 13 de noviembre de 2019 de <https://github.com/tapnair/FusionSheeter>

RePack (s.f.) *RePack original packaging*. Recuperado el 30 de diciembre de 2019 de <https://www.originalrepack.com/service/>

Salvador, F., Martin de Holan, P. y Piller, F. (2009). Cracking the code to mass customization. *MIT Sloan Management Review*.

Shapeways (s.f.). *Shapeways creator apps*. Recuperado el 15 de octubre de 2019 de <https://www.shapeways.com/creator>

Shapeways (s.f.). *Shapeways customer support*. Recuperado el 15 de octubre de 2019 de <https://support.shapeways.com/hc/en-us/articles/360006410853-Can-I-pickup-my-order->

Singularu (s.f.) *Singularu*. Recuperado el 20 de octubre de 2019 de <https://singularu.com/pages/singularu-loves-people>

Singularu (s.f.). *Singularu loves people*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de <https://singularu.com/pages/singularu-loves-people>

Singularu (s.f.). *Singularu loves you*. Recuperado el 25 de octubre de 2019 de <https://singularu.com/pages/singularu-loves-you>

Singularu (s.f.). Terminos de uso: privacidad y protección de datos personales. *Singularu Términos de uso*. Recuperado de <https://singularu.com/pages/terminos-de-uso/#privacidad>

TechTarget (s.f.). *TechTarget*. Recuperado el 10 de enero de 2020 de <https://www.techtarget.com/>

TinyBox (s.f.). *Jewellery Gift Boxes*. Recuperado el 30 de diciembre de 2019 de <https://www.tinyboxcompany.co.uk/gift-boxes/jewellery-gift-boxes/sort-by/price/sort-direction/asc>

UNE-EN ISO/ASTM 52900:2017. Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.

Unión Europea (2016). Guía del usuario sobre la definición del concepto de PYME. Ares, 956541

Webkul (s.f.) *Webkul store*. Recuperado el 20 de noviembre de 2019 de <https://store.webkul.com/Shopify-OpenERP-Connector.html#descriptionTab>

Xu, X., Dehghani, A., Corrigan, D., Caulfield, S. y Moloney, D., 2016. *Convolutional Neural Network for 3D Object Recognition using Volumetric representation*. Trinity College Dublin. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/7528403>

Zipkin, P.H. (2001). The limits of mass customization. *MIT Sloan Management Review*, 42, 81-87

9 Anexos

9.1 Anexo 1: Mercado de la joyería personalizable

Con el fin de entender el actual mercado de la joyería personalizable en España y de encontrar una empresa adecuada en la que centrar el estudio, se han considerado una serie de empresas.

Customima (s.f.): tiene una amplia colección de joyas especializadas para bodas. La personalización se limita a grabados (letras) dentro de anillos o discos decorativos. Sus rangos de precios van de entre los 20-60€, salvo por algunas joyas para bodas que ascienden hasta los 200€.

Crea tu joya (s.f.): su catálogo está compuesto casi exclusivamente por joyas personalizadas. La personalización consiste en el grabado de la pulsera o el cambio del nombre cortado en la pulsera. Dichas joyas tienen un rango de precio entre 20 y 70€.

Mg atelier (s.f.): ofrece joyas tanto personalizadas como estándar. El rango de precio es el mismo para ambos tipos de joya, 20-80€. La personalización consiste en el grabado en un disco decorativo.

Cuchi cuchi (s.f.): la personalización en el caso de esta empresa consiste en el grabado de un disco decorativo. Sus joyas permiten todas estas opciones, y ofrecen también llaveros y carteras. Su factor diferencial consiste en centrarse en regalos para madres. Por ejemplo, permiten grabar las huellas del pie de un bebé en los discos decorativos que se mencionaban. Su rango de precios va de los 20 a los 55€.

Singularu (s.f.): esta empresa ofrece joyas estándar por entre 10 y 30€, y sus joyas personalizables rondan los 40-60€ (llegando una a 120€). La personalización consiste en el grabado de un disco decorativo y la elección de la letra o palabra decorativa de anillos o collares. Destacable de esta empresa es que utiliza fabricación distribuida, es decir, tiene una red de más de 180 proveedores para fabricar su catálogo.

Dime que me quieres (s.f.): con un rango de precios entre los 30 y los 100€, esta empresa ofrece joyas tanto estándar como personalizadas. La personalización consiste en un grabado en un disco decorativo.

9.2 Anexo 2: Comparación máquinas virtuales

AWS:

Amazon EC2
Region: EU (Stockholm)

Edit

Action ▾

Advance estimate

Operating system (Windows Server), Storage for each EC2 instance (General Purpose SSD (gp2)), Storage amount (50 GB), Snapshot Frequency (3x Daily), Amount changed per snapshot (1 GB), Advance EC2 instance (t3.medium), Pricing strategy (All Reserved 1 Year None upfront)

Monthly:
Upfront:

49.01 USD
0.00 USD

Ilustración 54. AWS EC2 coste

Microsoft Azure:

 Máquinas virtuales

REGIÓN:
Este de Noruega ▾

SISTEMA OPERATIVO:
Windows ▾

TIPO:
(solo SO) ▾

NIVEL:
Estándar ▾

INSTANCIA:
A2 v2: 2 vCPU, 4 GB de RAM, 20 GB de almacenamiento temporal, 0,188 US\$/hora ▾

Opción de facturación

La opción de 1 año de reserva no está disponible para las instancias seleccionadas.

La opción de 3 años de reserva no está disponible para las instancias seleccionadas.

☒ Pago por uso

☐ 1 año de reserva

☐ 3 años de reserva

Ahorre hasta un 40 % con las licencias de Windows Server que ya tiene. [Más información acerca de la Ventaja híbrida de Azure para ahorrar costos de proceso.](#)

1

Máquinas virtuales

×

160

Hours ▾

==

30,08 US\$

Por mes

LA FABRICACIÓN ADITIVA COMO HABILITADOR DE LA CUSTOMIZACIÓN EN MASA EN PYMES | 91

Managed Disks ⓘ

NIVEL:

HDD Estándar ▾

TAMAÑO DEL DISCO:

S6: 64 GiB, 3,309 US\$/mes ▾

•

AGREGAR INSTANTÁNEA

1

Discos

×

3,31 US\$

Por mes

=

3,31 US\$

Transacciones de almacenamiento

160

Unidades de transacción
(10.000 transacciones)

×

0,0005 US\$

Por unidad

=

0,08 US\$

Subtotal

33,47 US\$

Ilustración 55. Microsoft Azure coste

Google CE:

Compute Engine	
1 x	 
173.810 total hours per month	
VM class: regular	
Instance type: n1-standard-1	
Region: Finland	
Paid OS Cost: USD 6.95	
GCE Instance Cost: USD 9.09	
Total available local SSD space 1x375 GB	
Static public IP 174 hours: USD 0.70	
Static public IP (assigned but unused) 556 hours: USD 5.56	
Estimated Component Cost: USD 30.16 per 1 month	
Persistent Disk	
Finland	 
Standard Provisioned Space: 50 GB	
USD 2.20	
Total Estimated Cost: USD 32.36 per 1 month	
Estimate Currency	
USD - US Dollar ▼	

Ilustración 56. Google CE coste

9.3 Anexo 3: Cálculo costes implementación

La explicación de los costes de implementación se resume a continuación:

- Contratación: estimación en función del salario final
- Subcontratación: estimación en base a información en indeed (s.f.)
 - o Programador: 17 semanas, 5 días a la semana, 8 horas al día
 - o Consultor digital: 15 horas
- Formación: 6 horas de Odoo, 8 horas de marketing
- Contratación: estimación en base a información en indeed (s.f.)
 - o Programador: 17 semanas, 5 días a la semana, 8 horas al día
 - o Diseñador: 6 semanas, 5 días a la semana, 8 horas al día
 - o Supply chain (2x): 11 semanas, 5 días a la semana, 8 horas al día

Marketing (2x): 10 semanas, 5 días a la semana, 8 horas al día