



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ETSID | ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DEL DISEÑO

MÁSTER EN INGENIERÍA DEL DISEÑO

**FACTORES DETERMINANTES EN LA
MASIFICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D COMO
TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN PERSONAL**

TESINA DE MASTER

Presentada por
Julio Horacio Carrillo Duarte

Dirigida por:
Dr. Jorge Alcaide Marzal

En la:
Universidad Politécnica de Valencia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Valencia, 2012

TESINA DE MASTER

Para la obtención del Título de:
Máster en Ingeniería del Diseño

FACTORES DETERMINANTES EN LA MASIFICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D COMO TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN PERSONAL

Presentada por:
Julio Horacio Carrillo Duarte

Dirigida por:
Dr. Jorge Alcaide Marzal

Presentada en:
Universidad Politécnica de Valencia
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Valencia, 2012

“La crisis es la mejor bendición que puede sucederle a personas y países, porque la crisis trae progresos. La creatividad nace de la angustia, como el día nace de la noche oscura.”

ALBERT EINSTEIN

A Maju

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ABREVIACIONES	x
CAPÍTULO I.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 El concepto de “ fábrica personal”.....	13
1.2 Delimitación del proyecto	15
1.3 Estructura del documento	16
2. ASPECTOS TEÓRICOS	16
2.1 La impresión 3D	16
2.2 Esquema general del proceso de impresión 3D	17
2.3 Historia.....	18
2.4 Principios básicos.....	20
2.5 Estado del arte	22
2.6 Requerimientos técnicos de las tecnologías para uso doméstico	31
2.7 La digitalización tridimensional.....	38
2.8 Tecnologías disponibles	38
2.9 Clasificación de las técnicas de digitalización 3D	39
2.10 Los objetos digitales	45
CAPITULO II.....	51
1. JUSTIFICACIÓN	51
2. OBJETIVOS	52
3. HIPÓTESIS	53
CAPÍTULO III.....	55
1. FACTORES DE CAMBIO.....	55
1.1 Aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores	56

1.2	Disminución en el precio de la tecnología de impresión 3D	60
1.3	Proliferación de software y librerías de cálculo de código abierto	62
1.4	Proliferación de hardware de código abierto	65
1.5	Crecimiento de las cultura “Hágalo Usted Mismo”	72
1.6	Nuevos esquemas de negocio derivados de la fabricación personal	74
1.7	Desarrollo de nuevos materiales para impresión 3D	76
1.8	Democratización de la manufactura	77
CAPITULO IV		79
1.	LA FÁBRICA PERSONAL Y EL MERCADO	79
1.1	Productores de materia prima	80
1.2	Distribuidores locales de materia prima	80
1.3	Fabricantes de hardware (impresoras 3D /kits de fabricación)	81
1.4	Proveedores de software	82
1.5	Servicios en la nube	83
1.6	Servicios auxiliares	85
2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS USUARIOS	86
2.1	Metodología para la determinación de perfil de usuarios ...	88
3.	NUEVAS ESTRUCTURAS EMPRESARIALES	99
4.	BARRERAS	102
4.1	Velocidad	102
4.2	Derechos de autor y propiedad intelectual	102
CONCLUSIONES		104
RECOMENDACIONES		106
REFLEXIONES		106
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN		107
REFERENCIAS		108
ANEXOS		113

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema general del proceso de impresión 3D.	17
Fig. 2. Lámpara QUIN.MGX.....	20
Fig. 3. Viabilidad económica de las tecnologías impresión 3D vs Moldeo por inyección	21
Fig. 4. Técnicas de fabricación aditiva.	23
Fig. 5. Diagrama del proceso SLS.	24
Fig. 6. Diagrama del proceso 3DP.	27
Fig. 7. Diagrama del proceso SLA.	28
Fig. 8. Diagrama del proceso InkJet.	29
Fig. 9. Diagrama del proceso LOM.	30
Fig. 10. Diagrama del proceso FDM.	31
Fig. 11. Relación Coste/precisión para diferentes tecnologías de manufactura aditiva.	35
Fig. 12. Análisis eficiencia espacial de diferentes tecnologías de manufactura aditiva.	36
Fig. 13. Clasificación de las tecnologías de digitalización 3D.....	39
Fig. 14. Software 123DCatch de Autodesk ®	40
Fig. 15. Sistema de escáner 3D mediante laser de línea.	41
Fig 14. Patrón de luz IR generado por Kinect captado por una cámara CMOS.....	42
Fig. 15. Esquema de sistema de 3D Scanning Time-of-Flight.....	43
Fig. 16. Esquema de sistema de 3D Scanning Time-of-Flight diferencia fases.....	43
Fig. 17. Etapas del proceso de generación de una malla a partir de una nube de puntos.....	46
Fig. 18. Evolución de la capacidad de cálculo que compran \$1000	57
Fig. 19. Aparición de sistemas de impresión 3D sobre una línea de tiempo.....	61
Fig. 20. RepRap modelo Mendel.....	66

Fig. 21. MakerBot modelo Replicator	67
Fig. 22. Fab@Home Modelo 2.	68
Fig. 23. Impresora 3D Ultimaker.	69
Fig. 24. Impresora 3D Solidoodle 2.....	69
Fig. 25. B9 Creator	70
Fig. 26 . Dispositivo Kinect® de Microsoft.....	72
Fig. 27. Motivación para emprender proyectos DIY.....	73
Fig. 28. Escenario de Fabrica Personal.	79
Fig. 29. Ejemplo de software en línea “Cloud Engine” de la empresa Sculpteo vs software Meshlab.....	85
Fig. 30. Esquema general del método VALS.	87
Fig. 31. Distribución de encuestados por edades.	89
Fig. 32. Distribución de encuestados por sexo.	89
Fig. 33. Distribución de encuestados por campo profesional.	90
Fig. 34. Distribución de encuestados por estatus profesional.....	90
Fig. 35. Grado de conocimiento de diversas áreas técnicas.	91
Fig. 36. Distribución de encuestados por ingresos.	91
Fig. 37. Tiempo de uso de la tecnología de impresión 3D.....	92
Fig. 38. Frecuencia de uso de la impresión 3D.....	92
Fig. 39. Fuente de origen de los archivos digitales para impresión 3D. .	93
Fig. 40. Naturaleza de objetos más frecuentemente impresos en 3D. ...	94
Fig. 41. Popularidad de uso de webs de servicios de impresión en línea.....	94
Fig. 42. Tendencia a compartir información en la web..	95
Fig. 43. Motivación para colaborar en comunidades web.....	95
Fig. 44. Porcentaje de encuestados propietarios de una impresora 3D.....	96
Fig. 45. Opinión sobre el coste mínimo de una impresora 3D personal. 96	
Fig. 46. Opinión sobre el coste mínimo por libra de material consumible.	97
Fig. 47. Opinión sobre factores prioritarios para impresión 3D casera... 97	

Fig. 48. Percepción de seguridad de la impresión 3D.	98
Fig. 49. Percepción de la madurez de la impresión 3D en la actualidad.	99
Fig. 50. Aceptación de la impresión 3D a futuro.	99
Fig. 51. Teoría de “la larga estela” (The Long Tail).....	100
Fig. 52. Esquema productivo tradicional vs esquema basado en Fábricas Personales.....	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de tecnologías impresión 3D disponibles en 2012.....	34
Tabla 2. Comparativa de emisiones, manejo de material y necesidad e post-procesamiento para FDM, LOM y 3DP.	37
Tabla 3. Comparativa entre las tecnologías de digitalización 3D	44
Tabla 4. Exigencias de cálculo para procesamiento de modelo digital con nube de 3.000.000 puntos.....	59

RESUMEN

El actual escenario tecnológico ofrece a los usuarios el acceso a herramientas de manufactura cada vez más compactas, accesibles y refinadas, lo que ha llevado a la aparición de un nuevo modelo de fabricación con el usuario como protagonista: ***la Fábrica Personal (PF)***. Este trabajo estudia la influencia de ciertos factores de cambio, sobre la manera como la sociedad percibe, se relaciona y utiliza la impresión 3D como tecnología emergente de fabricación personal. La metodología empleada está basada en primer lugar, en una revisión profunda del estado del arte de las tecnologías de impresión 3D y su influencia en los esquemas tradicionales de fabricación mediante la proyección de escenarios futuros basados en análisis y relaciones obtenidas por el autor. En segundo lugar se hace un “análisis fundamental” de los factores tecnológicos, económicos y sociales que pueden estar incitando un cambio en los métodos tradicionales de manufactura de productos. Adicionalmente, una encuesta en línea es realizada entre los miembros de diez comunidades virtuales relacionadas con la impresión 3D, donde entusiastas, profesionales, colaboradores y “freelancers” son interrogados sobre su relación, percepción y visión de las tecnologías 3D como fundamento de la fabricación personal. Los datos arrojan resultados reveladores sobre el perfil psicográfico y la motivación del mercado en la aceptación del nuevo modelo de manufactura en casa.

Palabras clave: Fábrica personal, manufactura aditiva, impresión 3D, hardware libre, diseño para impresión 3D.

ABSTRACT

The current technological scenario gives users access to increasingly compact, affordable and stylish manufacturing tools, which has led to the emergence of a new manufacturing model with the user as protagonist: Personal Factory (PF). This paper studies the influence of certain change factors, about how society perceives, relates to and uses 3D printing and personal fabrication emerging technology. The methodology is based firstly on a thorough review of 3D printing technologies state of the art and their impact on traditional manufacturing schemes by projecting future scenarios based on analysis and relationships obtained by the author. Second is a "fundamental analysis" of the technological, economic and social factors that may be prompting a change in the traditional methods of products manufacturing. Additionally, an online survey is conducted among the members of ten virtual communities related to 3D printing, where enthusiasts, professionals, employees and "freelancers" are questioned about their relationship, perception and vision of 3D technologies as the basis of personal fabrication. The data sheds revealing results on the psychographic profile and motivation of market acceptance of new manufacturing model home.

Keywords: Personal factory, additive manufacturing, 3D printing, open hardware, design for 3D printing.

LISTA DE ABREVIACIONES

3D	Tridimensional
3DP	Tecnología de impresión tridimensional. MIT®
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
PF, Fabber	Fábrica personal
EMB	Fusión con rayo de electrones
DIY	Hágalo Usted Mismo
I+D	Investigación y Desarrollo
MIT	Instituto Tecnológico de Massachusetts
PA	Poliamida
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEEK	Poliéter éter cetona
POM	Polioximetileno (poliacetal)
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
SL	Estereolitografía
SLM	Fusión selectiva con láser
SLS	Sinterización selectiva por láser
SMS	Sinterizado selectivo con máscara
STL	Formato de archivo “stereolithography”
CMOS	Semiconductor complementario de óxido metálico
IGES	Inicial Graphics Exchange Specification

NURBS	Non uniform rational B-spline
CAM	Manufactura asistida por ordenador
CAE	Ingeniería asistida por ordenador
CMOS	Semiconductor complementario de óxido metálico
ToF	Time of Flight
Kinect	Dispositivo propiedad de Microsoft basado en una cámara IR, una cámara VGA y un receptor CMOS
IR	Infrarrojo
MC	Algoritmo de cubo marchante (Marching Cube)
MT	Algoritmo de triángulo marchante (Triangle Cube)
BPA	Algoritmo de pivote de bola (Ball-pivoting Algorithm)
PLA	Ácido poliláctico
PEAD	Poliétileno de alta densidad
PVA	Alcohol de polivinil
ABS	Acrlonitrilo butadieno estireno
PMMA	Polimetil metacrilato

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las tecnologías de fabricación se han hecho accesibles al público general, al punto que hoy día las personas pueden adquirir dispositivos que les permiten materializar productos sencillos en su hogar, de manera económica, altamente personalizada y sin tiempos de espera. El inicio de esta tecnología se remonta a un par de décadas atrás, cuando nacía la estereolitografía como una nueva tecnología capaz de cambiar la manera de fabricar objetos.

En 1992, Marshall Burns fundador del conglomerado tecnológico Ennex, vaticinaba:

“Vamos a ver pequeñas fábricas personales de escritorio que serán capaces de producir de todo, desde platos personalizados para la cena, hasta piezas de reemplazo del lavavajillas, y costarán lo mismo que los ordenadores personales” (Burns, 1992)

Dos décadas después, el mundo ha sido testigo de grandes cambios tecnológicos: la masificación de las comunicaciones, el aumento exponencial del potencial de cálculo de los ordenadores, el surgimiento de “la nube” en internet, la proliferación de licencias “open” de hardware y software, entre otros, que han contribuido a que el escenario de la manufactura personal se proyecte cada vez más como una realidad.

1.1 El concepto de “ fábrica personal”

Una Fábrica Personal, también conocida como Fabber ó PF’s (Personal Fabricator), es un concepto que contempla la evolución de las

tecnologías de manufactura hasta el punto en que sea posible que una máquina guiada por ordenador, fabrique productos tridimensionales de cualquier complejidad, a partir de archivos digitales, mediante el apilamiento organizado de material, y que sea totalmente accesible desde el punto de vista económico y técnico para cualquier persona.

La *fabricación personal* es la actividad derivada de la existencia de los PF's, y en este trabajo se llamará además, y de manera indistinta: manufactura personal, manufactura casera, prototipado rápido ó fabricación casera.

Otras definiciones expresadas al respecto por personas estrechamente vinculadas con la consecución del escenario de los PF's:

Para Neil Gershenfeld (2005), profesor del MIT y director del proyecto de alcance mundial FabLab afirma:

Ya hemos tenido una revolución digital; no necesitamos seguir teniendo la misma. La próxima revolución de las computadoras será cuando extrapolemos la programabilidad del mundo digital al resto del mundo. Con el beneficio de la retrospectiva, hay un tremendo paralelo histórico entre la transición de los Mainframes a las PC's con los de las máquinas herramientas a la fabricación personal. Por fabricación personal no me refiero sólo hacer estructuras mecánicas, sino sistemas plenamente funcionales que incluyan sensores, circuitos lógicos, actuadores, y pantallas.

Edward Sells, (2009) en su tesis doctoral, donde desarrolla el proyecto RepRap, opina:

...Podría reducirse el coste de piezas y mano de obra de la máquina, haciéndola asequible al mercado doméstico, y su capacidad de adaptación puede mejorar su rendimiento hasta el punto en que la máquina se convierta en un elemento indispensable del hogar...uno puede ya imaginarse regenerando partes de nuestro mundo mecánico...¿Voy a la tienda por esta cosa? ¿O simplemente la hago en el salón de mi casa? (p.3)

Actualmente, el concepto de los PF's se desarrolla de la mano de la tecnología de *manufactura aditiva* llevada a cabo por dispositivos llamados *impresoras 3D*. Esta tecnología está basada en la deposición de capas sucesivas de material fundido, que se apilan siguiendo un patrón determinado que conlleva a la obtención de una pieza tridimensional.

1.2 Delimitación del proyecto

Este trabajo se enfoca en el escenario específico del uso de las impresoras 3D como Fábricas Personales. Se estudia la relación existente entre la masificación de la tecnología de impresión 3D y la consecución del concepto de la "fábrica personal". Se lleva a cabo una profunda investigación bibliográfica de la evolución y el estado del arte actual de las tecnologías relacionadas con los sistemas de impresión 3D, así como de los sistemas tecnológicos de apoyo, y se relaciona información para determinar tendencias de cambio y/o puntos de inflexión tecnológica.

El trabajo se aborda fundamentalmente desde dos perspectivas; una social, que analiza las interacciones entre diversos factores de cambio, y su relación con el concepto de "fabricación personal", y otra técnica, que

analiza especificaciones de las tecnologías de impresión 3D para determinar su adaptación al escenario doméstico. Se realiza además, un estudio de campo para medir la percepción actual del mercado y su aceptación de las tecnologías de impresión 3D como herramientas de manufactura personal.

1.3 Estructura del documento

Este documento se divide en cuatro capítulos. El primer capítulo de naturaleza teórica, consiste en una revisión de la literatura para establecer el estado del arte de los sistemas de impresión tridimensional en el mundo y de sus sistemas de apoyo en el proceso de materialización de archivos digitales. En el segundo capítulo, una vez definido el escenario actual, se plantean los objetivos e hipótesis del trabajo. La tercera parte es de carácter analítico y plantea la descripción de los factores de cambio definidos como tales por el autor, y sus interrelaciones y proyecciones como impulsores de la movida de “manufactura personal” a nivel mundial. El último capítulo analiza los resultados de una encuesta en línea orientada a medir el sentimiento del mercado actual en cuanto al uso de las impresoras 3D como herramientas de fabricación casera. Finalmente se proponen conclusiones y recomendaciones y se dejan algunas “reflexiones” en forma de cuestiones que sirvan como punto de partida de futuras investigaciones.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 La impresión 3D

“La impresión 3D es un proceso de fabricación de objetos físicos a partir de un modelo digital tridimensional, típicamente mediante el apilamiento de sucesivas capas delgadas de material.” (Diccionario Oxford)

La impresión 3D es un proceso de manufactura aditiva debido al aporte de material, y difiere de las técnicas de mecanizado tradicional que se basan en la eliminación de material; como el taladrado, fresado, corte, etc.

2.2 Esquema general del proceso de impresión 3D

La Fig. 1 muestra etapas y tecnologías involucradas en el proceso de manufactura por impresión 3D, para un escenario de uso doméstico, es decir, una fábrica personal de objetos.

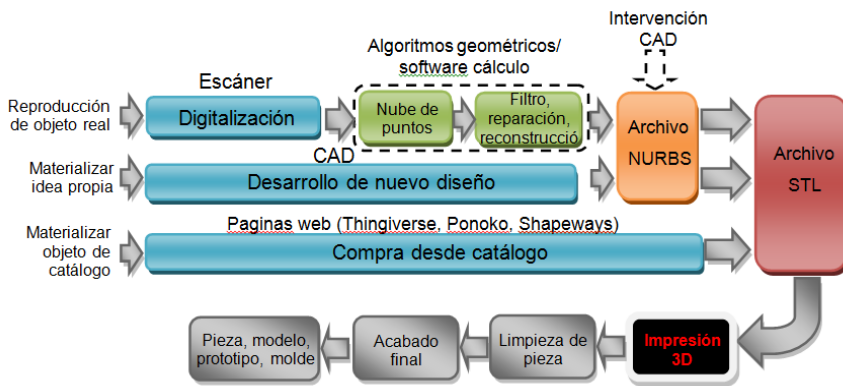


Fig. 1. Esquema general del proceso de impresión 3D.

Fuente: Autor

Según el autor existen tres canales desde los que puede provenir un requerimiento de impresión personal. En el primero caso, se asume que el usuario desea reproducir¹ un objeto real para su disfrute, o porque quiere intervenirlo para adaptarlo a otras necesidades, para lo cual se utiliza un escáner digital. El segundo canal supone el deseo de materializar una idea propia o de terceros a partir de diseños digitales, en

¹ La replicación busca copiar un sistema entero sin error, mientras que la reproducción (de un producto) es un proceso de desarrollo que permite ciertas variaciones. (Adams y Lipson, 2003)

cuyo caso el usuario se vale de software CAD para crear, visualizar o editar el modelo que posteriormente es procesado e impreso. El tercer canal contempla el intercambio de archivos de fabricación desde páginas web destinadas a este tipo de actividad (Ponoko.com, Thingiverse.com y Shapeways.com son ejemplos de estas).

Sea cual sea el canal de entrada, los datos obtenidos se deben transformar a una malla digital, generalmente con formato .STL, que es el archivo de entrada de las impresoras 3D. Tareas de procesamiento posterior son requeridas con frecuencia para eliminar materiales de soporte y en algunos casos para mejorar los acabados superficiales.

2.3 Historia

La primera tecnología aditiva para la impresión de objetos físicos tridimensionales a partir de datos digitales fue desarrollada por Charles Hull en 1984. La técnica fue llamada estereolitografía (SL) y obtuvo una patente técnica en 1986. Hull fundó la empresa 3D Systems y desarrolló la primera máquina comercial de impresión 3D llamada SLA-250 que fue puesta a la venta al público general en 1988.

A finales de 1980 surgió la sinterización selectiva por láser (SLS) propiedad de la empresa DTM; y el modelado por deposición fundida (FDM), inventado en 1988 por Scott Crump fundador de Stratasys. En 1992 ya se comercializaban máquinas con estas tecnologías.

En 1993, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), patentó una tecnología, llamada "técnica de impresión en 3 dimensiones - (3DP)", similar a la inyección de tinta de las impresoras 2D. En 1995, Z Corporation obtuvo una licencia exclusiva del MIT para explotarla. A

partir de allí que se popularizó el término "impresión 3D" para referirse a esta técnica de prototipado rápido.

En 1996, los dispositivos, "Genisys" de Stratasys, "Actua 2100" de 3D Systems y "Z402" de Z Corporation, competían simultáneamente en el mercado. Durante la década de 1990 y principios de 2000, se desarrollaron varios modelos de impresoras 3D de coste relativamente bajo.

En 2005, Z Corp. lanzó un producto innovador, denominado Spectrum Z510, que fue la primera impresora 3D en color de alta definición en el mercado.

En 2006 además del continuo desarrollo del hardware comercial, nacieron varios proyectos de código abierto: el proyecto RepRap, cuyo objetivo es el desarrollo de un modelo de impresora tipo DIY (Hágalo Usted Mismo), auto-reproductiva y de código abierto. La primera versión de RepRap (Darwin) fue lanzada en 2007 con capacidad de producir alrededor de 50 por ciento de sus propias partes. Actualmente se desarrolla la segunda generación (Mendel). (RepRap.org).

Otro proyecto similar es Fab@home, de la Universidad de Cornell, que agrupa una inmensa comunidad virtual personas interesadas en desarrollar, compartir y conocer tecnologías de fabricación personal. (Fabathome.org).

La gran difusión de información alrededor de los sistemas de impresión 3D, han expandido su uso a infinidad de campos y disciplinas, con aplicaciones tan variadas como creativas. En 2007, por ejemplo, la revista Time publicó su listado de los *100 diseños más influyentes del año*, que incluyó por primera vez el diseño de una lámpara fabricada en

impresión 3D (Revista Time, 2007). Y en 2011, durante el Festival de Diseño de Londres se calificó a la impresión 3D de “Revolución Industrial 2.0” (NY Times, 2011).



Fig. 2. Lámpara QUIN.MGX
The Design 100. Time Magazine. 2007
Fuente: Grossman, B.

En 2012 la tecnología de impresión 3D ha visto creciente aplicación en ciencias médicas, como la biotecnología, donde se plantea su posible uso en la fabricación de tejidos, órganos y partes del cuerpo mediante la deposición de capas de células. (Silverstein, 2012).

2.4 Principios básicos

El principio básico de las impresoras 3D es la manufactura aditiva, que consiste en depositar capas sucesivas de material que se apilan y se fusionan hasta que se completa el objeto. Para ello se requiere transformar los modelos CAD en delgadas secciones transversales, que constituyen la entrada de las impresoras 3D. La principal ventaja de la fabricación aditiva es su capacidad para crear casi cualquier forma o característica geométrica. Algunas técnicas de fabricación aditiva requieren el uso de material de soporte (para poder construir elementos

en voladizo) que posteriormente es eliminado por calor o disuelto con un disolvente o agua.

La interfaz de datos estándar entre los software de CAD y las máquinas de impresión 3D es el formato de archivo STL. El archivo STL “stereolithography”, aproxima la forma de la pieza a una superficie formada por un conjunto de caras triangulares. Cuanto más pequeñas son las caras, mayor calidad tendrá la superficie. El formato de archivos VRML (o LMR) también se utiliza a menudo como entrada para las tecnologías de impresión 3D, especialmente para los proyectos de impresión a color.

Los tiempos de construcción de un modelo con la tecnología actual, puede tomar de varias horas a varios días, dependiendo del método utilizado y del tamaño y la complejidad del modelo.

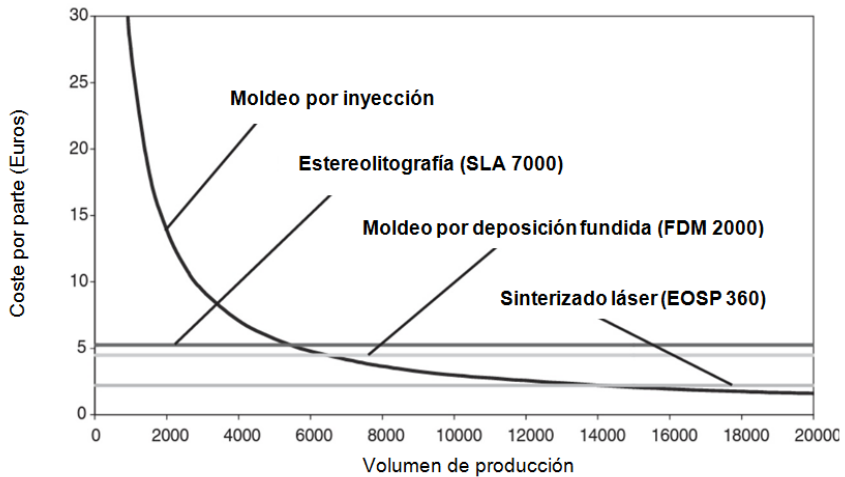


Fig. 3. Viabilidad económica de las tecnologías impresión 3D vs Moldeo por inyección

Fuente: Rapid Manufacturing. An Industrial Revolution for the digital Age.

(Neil Hopkinson. AMRG, Loughborough Univ. UK)

Otros procesos como el moldeo por inyección tradicional puede ser menos costoso para la fabricación de productos poliméricos en cantidades muy grandes, pero la fabricación aditiva puede ser una mejor opción (debido a los menores tiempos de puesta a punto) cuando se producen cantidades relativamente pequeñas de piezas. (Hopkinson, 2010)

2.5 Estado del arte

Todas las tecnologías que están disponibles en el 2012 son aditivas, diferenciándose principalmente en la forma en que se construyen las capas para crear las piezas. Algunas lo hacen fundiendo o ablandando el material como la sinterización selectiva por láser (SLS) y el modelado por deposición fundida (FDM), otras utilizan materiales líquidos termoestables que se curan con diferentes tecnologías como ocurre con la estereolitografía (SLA), e incluso los sistemas de laminación (LOM), se basan en cortar y unir finas capas de material como papel, polímeros o metales. Cada método tiene sus ventajas e inconvenientes. (Nomenclatura basada en ASTM F2792-12a, 2012).²

En general, las consideraciones principales a la hora de elegir la tecnología que mejor se adapte a las necesidades de un proyecto son: la velocidad, el coste del prototipo impreso, el coste de la impresora 3D, la elección y el coste de los materiales y capacidades de color. (Wohlers, 2012)

² Se utiliza la nomenclatura ASTM basada en las iniciales en inglés

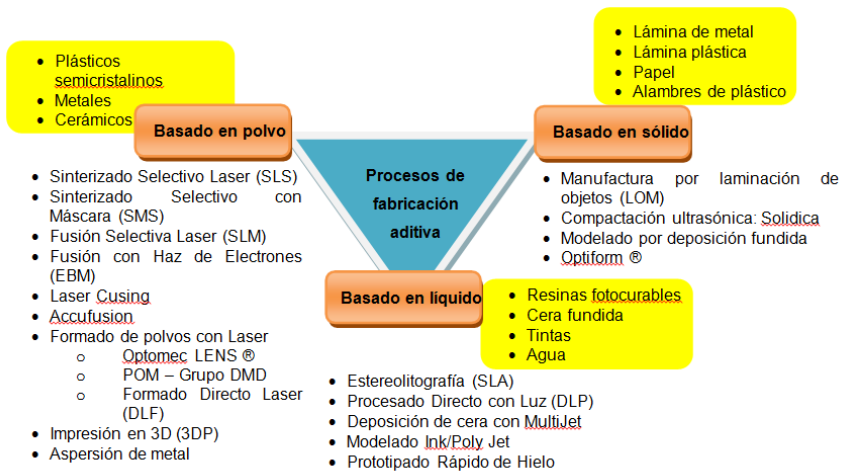


Fig. 4. Técnicas de fabricación aditiva.

Fuente: Reyes, G. Barcelona Institute of Packaging.

2.5.1 Tecnología basada en fundición de polvos de materiales (polímeros semi-cristalinos, metales, cerámicos)

Este tipo de tecnología está basada en la fusión selectiva de polvos de material. El material no fusionado sirve para apoyar voladizos y paredes delgadas reduciendo la necesidad de soportes temporales auxiliares para la pieza de trabajo. Típicamente se utiliza como fuente de energía un haz (láser, IR, electrones) para sinterizar el material y formar el sólido. Entre ellas tenemos:

Sinterización selectiva por láser (SLS): utiliza un láser para unir selectivamente y de manera puntual, pequeñas partículas de material en polvo y construir secciones transversales (capas) sólidas que se van uniendo a las anteriores hasta formar un sólido. La unión de las partículas normalmente se produce a temperaturas por debajo del punto de fusión y ocurre a nivel superficial, siendo por tanto, la densidad de la pieza dependiente de la intensidad del láser.

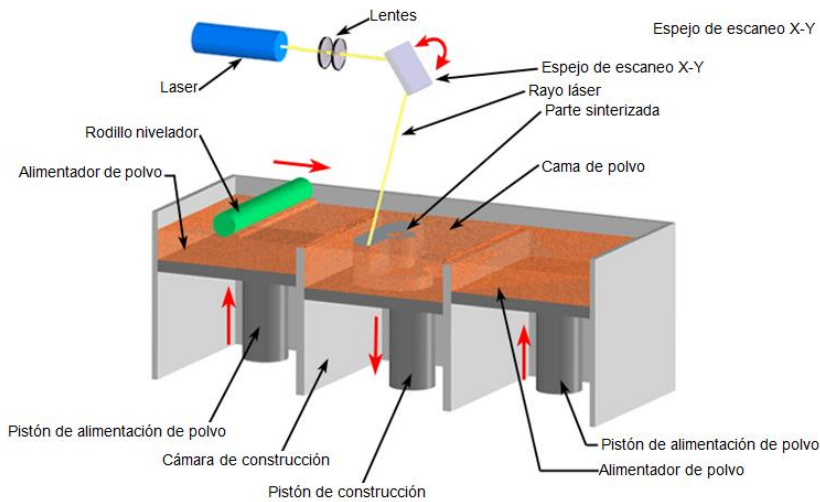


Fig. 5. Diagrama del proceso SLS.

Fuente: Wikimedia Commons

Sinterización selectiva con máscara (SMS): Proyecta un rayo IR sobre un espejo que tiene impresa la forma de la sección transversal a construir, y se refleja sobre la capa de material con un espejo secundario. Cada capa de polvo es completamente fundida según la trama dibujada en el espejo. La trama se reimprime tantas veces como secciones transversales se hayan creado para el objeto. Se obtienen velocidades de fabricación muy altas, de hasta 35 mm/hora.

Fusión selectiva por láser (SLM): Es similar al SLS, pero utiliza un haz láser de alta energía (filamento de Ytterbium) para fundir polvos metálicos como acero, cobalto-cromo, aleaciones de titanio y aleaciones de aluminio.

Sinterización directa de metal por láser (DMLS): Se utiliza principalmente para la fabricación de insertos de moldes para inyección de plástico. Se utiliza un proceso de fusión localizada mediante un láser. Se requiere

una placa de acero de soporte que permitirá que las piezas sintericen sobre ellas.

Fusión por haz de electrones (EBM): Similar al SLM, pero se utiliza un haz de electrones para producir la fusión focalizada de los polvos metálicos. Aunque el principio es similar, existen algunas diferencias en cuanto a la manera como se llevan a cabo tanto el SLM como el EBM debido al tipo de fuente de energía utilizada en cada caso. Se utiliza mucho en la fabricación de implantes y piezas médicas.

LaserCUSING: Igual que el DMLS, se utiliza sobre todo en la fabricación de insertos y moldes de inyección de plástico. Utiliza un láser de alta energía que produce una fusión completa del polvo metálico lo que permite crear piezas completamente densas, sin la porosidad que genera la sinterización.

Accufusion: Esta tecnología canadiense está basada en un proceso similar al DMLS, pero utiliza tecnología propia llamada “laser consolidation” que consiste en accionar al mismo tiempo el haz de láser y el polvo de material en una piscina fundida, bajo condiciones controladas. El resultado es una forma con excelente acabado que requiere poco tratamiento posterior. (Reeves, 2008)

LENS® (Laser Engineer Net-Shaping) : Es tecnología de la empresa Optomec® para fabricar piezas de polvo metálico inyectado en un baño de fusión. Un láser de alta potencia funde el metal en polvo suministrado coaxialmente al foco del láser a través de un cabezal de deposición. Un gas inerte protege el baño de fusión del oxígeno para mejor control de las propiedades, y promover la adherencia entre capas. (Optomec.com)

Deposición directa de metal – DMD: Es un sistema patentado de circuito cerrado de retroalimentación que garantiza la calidad del producto y la estabilidad dimensional durante la fabricación. Los aceros para herramientas, superaleaciones de níquel y otros metales diferentes se pueden combinar para crear un objeto sólido, como un prototipo del molde, o troquel. Las características de enfriamiento rápido del DMD crean una microestructura de grano fino, que resulta en un producto totalmente denso con propiedades mecánicas y metalúrgicas superiores. (Pomgroup.com)

Formado directo con laser – DLF: Es una técnica de conformación flexible que utiliza un haz láser desenfochado para formar productos induciendo tensiones térmicas en lugar de fuerzas externas. Estas tensiones internas inducen deformaciones plásticas (sin ningún tipo de fusión) que dan forma a los componentes. Una de las ventajas más importantes que presenta este proceso y que lo hace tan interesante para la formación de metales, es la inhibición del efecto memoria de los materiales. El proceso requiere un control preciso, con el fin de obtener la forma deseada. (Proform-ip.com)

3D Print.³ Utiliza la tecnología estándar de impresión de chorro de tinta, para crear modelos capa por capa, depositando un aglutinante líquido sobre las finas capas de polvo de material. Después de que las secciones transversales se imprimen, el exceso de polvo es retirado rápidamente para su reutilización en el siguiente modelo. El proceso es extremadamente rápido, de 25 mm a 50 mm por hora. (Zcorp.com)

³ La tecnología “3DP” y el término “impresión 3D” son dos conceptos diferentes.

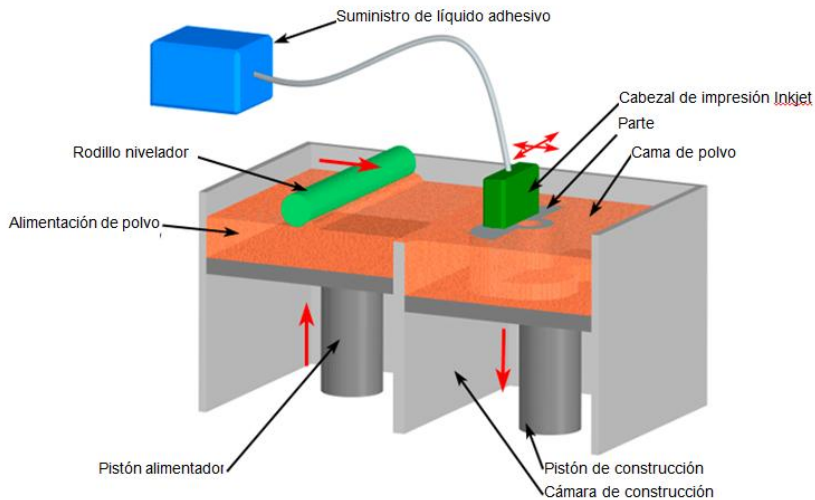


Fig. 6. Diagrama del proceso 3DP.

Fuente: Wikimedia Commons

Sprayed metal (aspersión de metal): En esencia, este método implica la fusión de la materia prima metálica en forma de alambre o en polvo, para después atomizarlo a alta velocidad y crear una capa de material sólido. (Sculptor.org)

2.5.2 Tecnología basada en materiales líquidos (resinas fotocurables, ceras fundidas, tintas, agua)

Estereolitografía (SLA): El término "estereolitografía" fue acuñado en 1986 por Charles Hull que lo patentó como un método para la fabricación de objetos sólidos mediante la "impresión" de capas delgadas y sucesivas de un material endurecible con luz ultravioleta (fotopolímero líquido). El haz de luz dibuja el objeto sobre la superficie de la capa de líquido, capa por capa, y la resina al polimerizar crea un sólido.

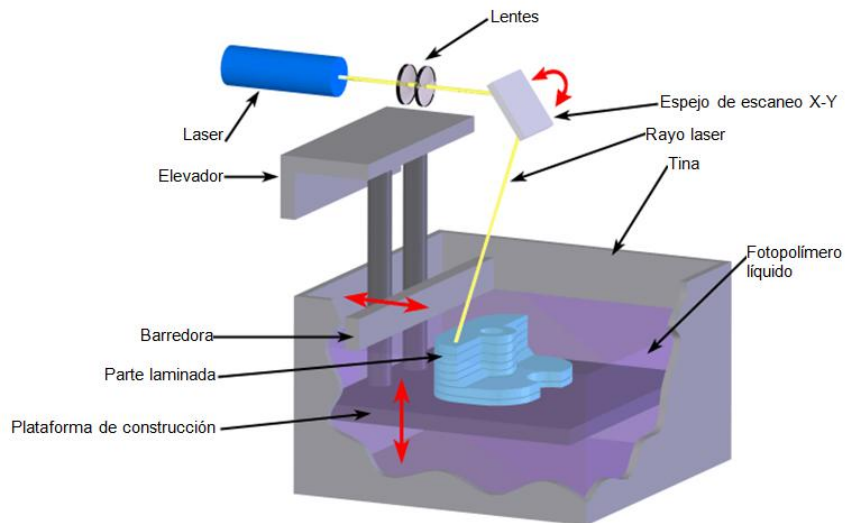


Fig. 7. Diagrama del proceso SLA.

Fuente: Wikimedia Commons

Procesamiento directo por luz (DLP): Es una variación de la estereolitografía. En este caso el barrido del láser no se realiza punto por punto sino superficialmente. Esto se logra reflejando una luz en un espejo que reproduce sucesivamente las secciones transversales del objeto a construir, similar al proceso SMS de polvos. De esta manera, el tiempo de fabricación disminuye radicalmente al depender solamente del espesor de la pieza (número de capas).

Deposición de cera Multijet: Esta tecnología está basada en el modelado de sólidos por chorro múltiple, también conocido como Thermojet. La máquina utiliza un cabezal de área amplia con múltiples aspersores que pulverizan pequeñas gotas de material fundido que se solidifican al impacto y crean un objeto sólido. El proceso se utiliza comúnmente para la creación de patrones para la industria de la joyería y otras aplicaciones de fundición de precisión. El sistema es menos preciso que la estereolitografía.

Inkjet/Polyjet: La tecnología Polyjet materializa las formas mediante deposición de secciones sucesivas de un polímero acrílico líquido, que es polimerizado por radiación UV instantes después de ser depositado. Es una de las tecnologías más precisas del mercado y ofrece una amplia gama de materiales de fabricación. (Stereoprint.com)

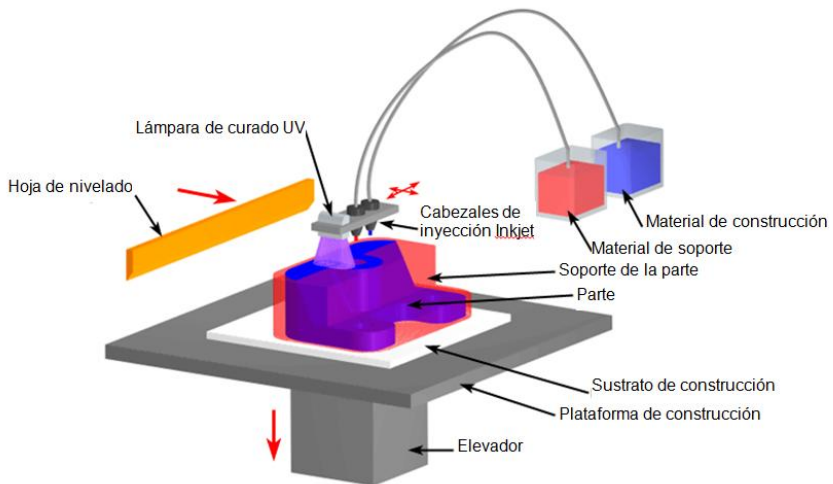


Fig. 8. Diagrama del proceso InkJet.

Fuente: Wikimedia Commons

Prototipado rápido con hielo (RFP): Se trata de utilizar hielo en lugar de plástico para crear los modelos. Es un sistema experimental que consiste en depositar gotas de agua desde una boquilla en una superficie, sin embargo, esto se produce dentro de una cámara de congelación, para mantener la parte fabricada intacta. Por otra parte, en lugar de crear el prototipo capa por capa, el sistema crea primero una “cáscara” y a continuación lo rellena con agua que posteriormente se congela.

2.5.3 *Tecnología basada en materiales sólidos (láminas de plástico y metal, papel, filamentos de plástico)*

Manufactura de objetos por laminado (LOM): En este proceso, se utilizan capas sucesivas de papel, plástico o metal que son recubiertas con adhesivo, apiladas y cortadas a medida con un cortador láser para crear el objeto. Representa un reducción considerable de costes en materia prima.

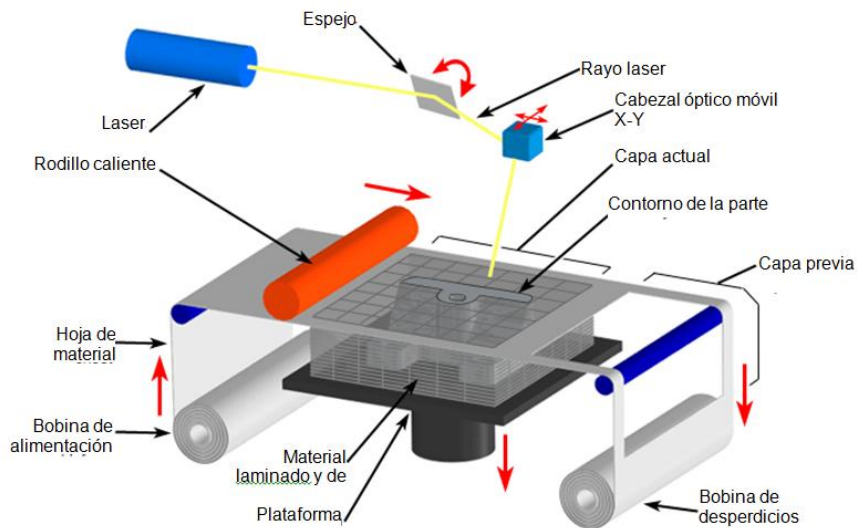


Fig. 9. Diagrama del proceso LOM.

Fuente: Wikimedia Commons

Modelado por deposición fundida (FDM): Un filamento de plástico o alambre metálico se desenrolla de una bobina y se suministra a una boquilla de extrusión que regula el flujo. La boquilla se calienta para fundir el material y se puede mover en las direcciones horizontal y vertical por un mecanismo de control numérico. El modelo o parte se produce por la extrusión de pequeños gránulos de material termoplástico que forman capas a medida que el material se endurece al salir de la boquilla de extrusión.

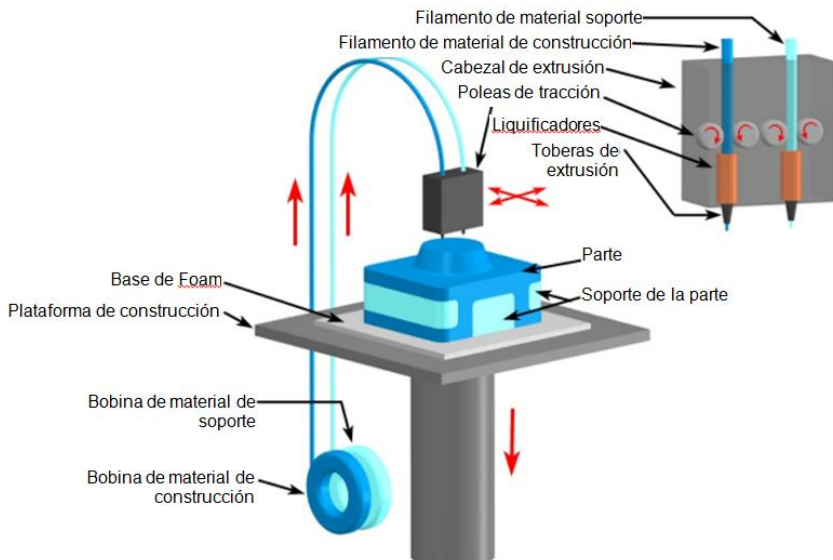


Fig. 10. Diagrama del proceso FDM.

Fuente: Wikimedia Commons

2.6 Requerimientos técnicos de las tecnologías para uso doméstico

Las consideraciones principales para la selección de una tecnología de impresión 3D para adaptarse al concepto de “fabrica personal” son las siguientes:(Sells, 2009)

- Bajo coste (dentro de un presupuesto familiar)
- Rendimiento aceptable (adecuado para la fabricación de artículos de consumo personal)
- Eficiencia espacial (para adaptarse en la habitación de una casa)
- Cero emisiones (para eliminar cualquier riesgo a la salud y cualquier infraestructura adicional)
- Manejo de materiales simples (por la facilidad de uso)
- Cero post-procesamiento (de ser posible que los productos se fabriquen listos para usar).

A continuación se presenta una tabla comparativa de las diferentes tecnologías expuestas anteriormente, basada en entrevistas e investigaciones realizadas por Worldwide Guide to Rapid Prototyping. Algunas modificaciones han sido realizadas por el autor para adaptarla a las necesidades del proyecto.

TECNOLOGÍAS							
	Estereolitografía	Polyjet	Sinterizado selectivo por láser	Inkjet	Manufactura de objetos por laminado	Fabricación con filamento fundido	3d Printing
Acrónimo	SLA	J-P	SLS	DOD	LOM	FFF/FDM	3DP
Empresa	3D Systems	3D Systems	EOS GmbH	SolidScape (adquirida por Stratasys)	Cubic	Stratasys	3D Systems (antes productos de ZCorp)
Tamaño máx piezas	508x508x610mm	298x185x203mm	699x381x584mm	305x152x229mm	160x210x135	610x508x610mm	508x610x406mm
Velocidad ⁽¹⁾	3	5	4	1		1	8
Precisión (espesor de capa) ⁽¹⁾	0.05mm	0.016mm	0.1mm	0.013mm	0.168mm	0.254	0.089
Acabados ⁽¹⁾	7	6	6	8		2	2
Ventajas	Tamaño pieza grandes, precisión	Precisión y acabados, apto para oficina, uso simultáneo de varios materiales.	Precisión, materiales	Precisión, acabados, apto para oficina.	Apto para oficina, precio, tamaño	Apto para oficina, precio, materiales	Velocidad, apto para oficina, precio, color

Desventajas	Post-procesamiento, líquidos problemáticos	Post-procesamiento	Tamaño y peso, precio, acabados	Velocidad, materiales limitados, tamaño de pieza	Materiales limitados, acabados y precisión	Velocidad	Materiales limitados, piezas frágiles, acabados
Rango de precios de impresoras comerciales (miles de dólares)	\$75-800	\$20-100	\$200-1MM+	\$46-80	\$15	\$10-300	\$15-70

MATERIALES

	Estereolitografía	Polyjet	Sinterizado selectivo por láser	Inkjet	Manufactura de objetos por laminado	Fabricación con filamento fundido	3d Printing
Materiales	Acrílicos ABS PP Elastómeros	Acrílicos Elastómeros	Nylon (incluidos los retardantes de flama, y los rellenos de vidrio, aluminio o carbón) PS Elastómeros Acero y aleaciones de acero inox. Aleaciones de bronce Aleaciones Cb-Cr Titanio	Plásticos basados en poliéster Piezas de cera	Papel Láminas de PVC	ABS PC Polifenilsulfona Elastómero	Compuestos de yeso Piezas de cera

COSTO ESTIMADO DE MATERIALES POR KG (USD)						
Plásticos	\$165-243	\$132-441	\$55-132	\$220	\$36	\$253-407
Metales			\$77-253			Almidón \$21,36/L Compuesto de yeso \$36,60/L +infiltrante
Otros			\$11 (arena de fundición)			

(*) Escala: 8=excelente, 7= muy bueno, 6=bueno a muy bueno 5=bueno, 4=promedio a bueno, 3=promedio, 2=aceptable, 1=pobre

Tabla 1. Comparación de tecnologías impresión 3D disponibles en 2012

Fuente: Worldwide Guide to Rapid Prototyping/Autor

2.6.1 Análisis de coste en función de la precisión

La siguiente gráfica muestra la relación existente entre el mínimo coste de las tecnologías para sus precisiones más altas. El parámetro utilizado para evaluar la precisión es el mínimo espesor de capa que se puede construir.

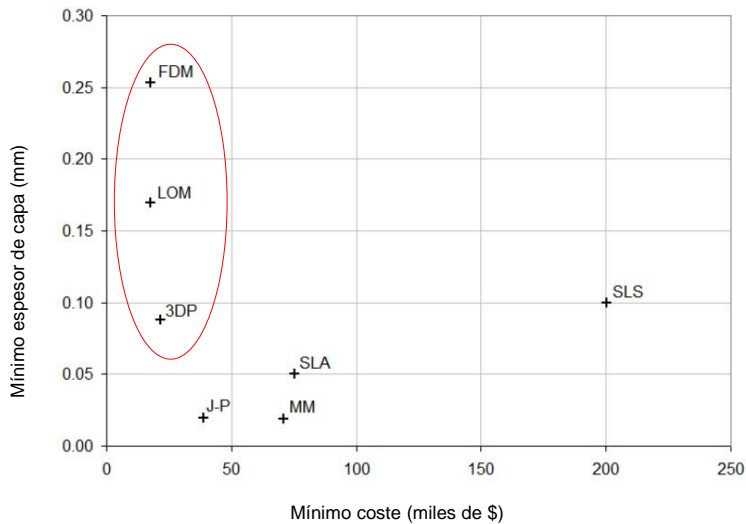


Fig. 11. Relación Coste/precisión para diferentes tecnologías de manufactura aditiva.

Fuente: Sells, 2009 RepRap Project

La Figura muestra que las tecnologías más baratas son 3DP, LOM y FDM, aunque los tres caen dentro de un rango de precio similar. De los tres, 3DP es la tecnología más precisa, LOM está en el medio y FDM es la peor con una resolución 0,254mm de espesor de capa. Ahora bien, el autor está de acuerdo con la fuente, en que 0.254mm, aun siendo el valor menos preciso, sería suficiente para la fabricación de la mayoría de los artículos que un consumidor promedio demandaría, sin embargo es necesario evaluar otros factores. (Sells, 2009)

2.6.2 Análisis de eficiencia espacial

Para analizar la eficiencia espacial de las tecnologías disponibles, se analiza el siguiente gráfico basado en el cálculo de dos índices: el índice volumétrico y el índice de huella. Estas métricas simples dictan que cuanto mayor sea el índice global, mayor es la eficiencia espacial del sistema. (Sells, 2009)

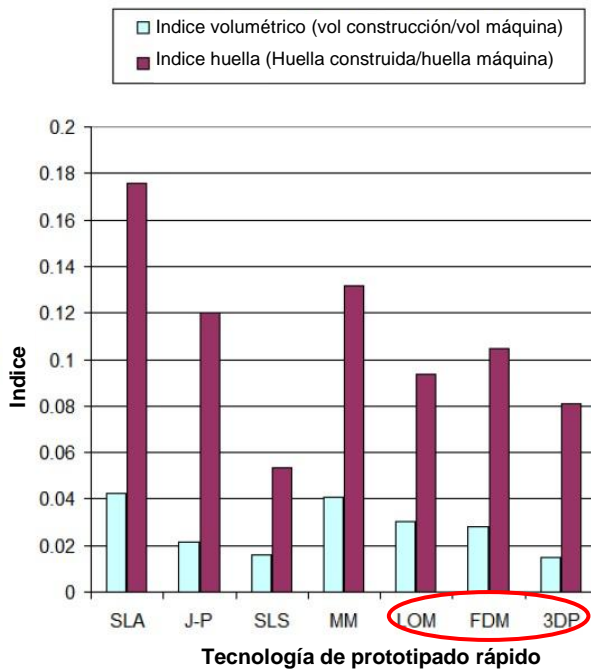


Fig. 12. Análisis eficiencia espacial de diferentes tecnologías de manufactura aditiva.

Fuente: Sells, 2009 RepRap Project

La figura muestra que las tres tecnologías más económicas estudiadas anteriormente (LOM, FDM y 3DP) presentan valores bastante cercanos de eficiencia espacial. Esto significa que a efectos de incorporar estas tecnologías en un ambiente doméstico, cualquiera de las tres podría ser considerada.

2.6.3 Emisiones, manejabilidad y post-procesamiento.

En la siguiente tabla se comparan las tres tecnologías más económicas en términos de emisiones, manejo del material y post-procesamiento.

Tecnología	Emisiones	Manejo de material	Post-procesamiento
FDM	Cero emisiones	Filamentos embobinados	No se requiere
LOM	Solventes ligeros	Láminas plásticas en bobina	No se requiere
3DP	Cero emisiones	El aglutinante y los polvos son difíciles de manipular, generando suciedad.	Se requiere infiltración para definir la resistencia de la pieza.

Tabla 2. Comparativa de emisiones, manejo de material y necesidad e post-procesamiento para FDM, LOM y 3DP.

Fuente: Sells, E. RepRap Project

Como se puede observar, las tecnologías FDM y LOM son adecuadas desde los tres puntos de vista (emisiones, manejo del material y post-procesamiento), mientras que el 3DP no satisface dos de los criterios. Se desecha la opción 3DP debido a la poca manejabilidad de los polvos y su necesidad de post-procesamiento. El LOM tiene ligeras emisiones debido a los solventes del pegamento, pero no llegan a afectar la salud ni a requerir de algún tipo de instalación. Ambas tecnologías podrían ser perfectamente aptas para cumplir con requerimientos de fabricación en hogares domésticos.

Sin embargo, el autor considera que debido a la facilidad de uso del sistema FDM, que consiste básicamente en conectar las bobinas de filamento polimérico a las boquillas de extrusión, éste prima sobre la opción de la fabricación laminada. El LOM es bastante más engorroso en su proceso, además de tener mayores restricciones en el uso de

materiales de fabricación. Por otro lado, la tecnología LOM desarrollada inicialmente por Cubic Technologies no ha tenido actualizaciones recientes, mientras que el FDM se ha expandido considerablemente lo que significa mayor respaldo, y mayor madurez tecnológica.

Aun cuando ambas opciones LOM y FDM son económicas y cumplen satisfactoriamente con los requerimientos para la “fabricación personal”, se escoge la opción FDM debido a su simplicidad de uso, y mayor respaldo tecnológico.

2.7 La digitalización tridimensional

Con la llegada de los ordenadores en los '80 se hizo posible el complejo cálculo geométrico para digitalizar los objetos físicos reales. Los primeros “escáneres 3D” estaban basados en una sonda contacto que permitía capturar puntos de los objetos reales y recrear modelos digitales precisos. Pero eran muy lentos, así que se comenzó a desarrollar la tecnología óptica basada en haces de luz, lo que resultó mucho más rápido al mismo tiempo que permitió digitalizar piezas blandas que antes se veían afectadas por el método de contacto.

2.8 Tecnologías disponibles

Existen varias tecnologías disponibles actualmente para la digitalización tridimensional de objetos. Algunas son adecuadas para largo alcance, otras para corto y mediano alcance. Otras utilizan métodos basados en microondas o en ondas ultrasónicas. La Fig. 13 muestra una clasificación general de las tecnologías de digitalización 3D basada en el método utilizado. Para efectos de este proyecto se analizarán sólo aquellas basadas en la utilización de ondas de luz.

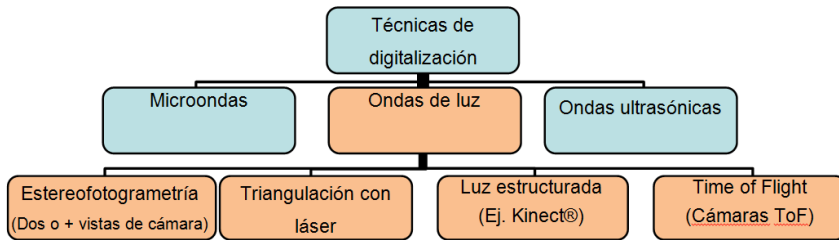


Fig. 13. Clasificación de las tecnologías de digitalización 3D

Fuente: Castaneda, V. Time-of-Flight and Kinect Imaging.

2.9 Clasificación de las técnicas de digitalización 3D.

Tecnologías de corto alcance (< 1 metro de distancia focal)

Estereofotogrametría: Esta técnica permite determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de un objeto a partir de dos o más imágenes fotográficas tomadas desde diferentes posiciones (estereoscopia), e identificando puntos comunes en las imágenes. Se construyen líneas de visión desde la ubicación de la cámara hasta el punto en el objeto, y la intersección de estos rayos (triangulación) permite determinar la ubicación tridimensional del punto.

Un ejemplo de esta técnica es la herramienta 123CatchD de la empresa Autodesk ® que brinda la posibilidad de generar modelos tridimensionales de objetos a partir de simples imágenes digitales desde varios puntos de vista. El modelo digital en 3D se genera en “la nube” de forma automática previa configuración manual con la ayuda de una sencilla interfaz de software. Aunque con estas tecnologías no se obtienen mediciones precisas de los objetos, sí se producen modelos 3D fotorrealistas extremadamente completos y adecuados para aplicaciones como, por ejemplo, la animación y los juegos de ordenador.



Fig. 14. Software 123DCatch de Autodesk ®

Fuente: Autor

Triangulación con láser: La tecnología láser de exploración consiste en utilizar fuentes de luz láser para proyectar sobre el objeto puntos o líneas delgadas de láser. Al mismo tiempo, sensores de luz adquieren los datos de la escena y mediante la aplicación de simples reglas geométricas de "triangulación", el sistema calcula las distancias a los puntos/líneas y crea la superficie del objeto.

Los costes de los escáner láser generalmente son elevados pues en algunos casos se precisa de motores eléctricos para generar un barrido continuo y estable con la unidad de escáner. Otros inconvenientes son, la necesidad de calibración a fin de establecer fielmente la disposición geométrica de todos los elementos escaneados; y los largos tiempos requeridos para la digitalización de grandes superficies.

Últimamente han aparecido soluciones de bajo coste del tipo "hágalo usted mismo" que prometen buenas resoluciones a precios razonables. Uno de los más activos en internet es el sistema David-Laserscanner.



Fig. 15. Sistema de escáner 3D mediante láser de línea.
Fuente: David Laser (www.david-laserscanner.com)

Proyección de luz estructurada (patrones de luz): Esta tecnología se basa en la proyección de patrones de luz sobre el objeto tridimensional. Es similar a la tecnología láser explicada anteriormente, pero en lugar de determinar la distancia a partir de las líneas/puntos de láser, se hace calculando las deformaciones de las aristas del patrón de luz que se proyectan desde la superficie del objeto en una cámara sensible a la luz.

El dispositivo de escaneo se compone generalmente de un proyector de luz estructurada y un sensor. Los sistemas más complejos utilizan dos o tres sensores de luz. El proceso de cálculo de las distancias a la superficie del objeto se realiza igual que en el caso anterior, mediante triangulación. La diferencia radica en que esto sucede en un solo paso y que toda la superficie puede ser digitalizada en una sola adquisición de datos. Todo sucede en menos de un segundo, por lo que pequeños movimientos del objeto no representan un problema para su digitalización.

El dispositivo Kinect® de Microsoft es un ejemplo de esta tecnología. Kinect proyecta un patrón de luz infrarroja en forma de “cúmulos” de

puntos que es “observado” con una cámara CMOS sensible a los infrarrojos. Las coordenadas de cada punto se calculan resolviendo las incógnitas de la triangulación con el emisor y el receptor.



Fig 14. Patrón de luz IR generado por Kinect captado por una cámara CMOS

Fuente: Audrey Penven

2.9.1 *Tecnologías de mediano y largo alcance (> 2 metros de distancia focal)*

Time of Flight (ToF): Esta tecnología está basada en un concepto muy simple: conociendo la velocidad de la luz, se puede saber cuánto tiempo tarda un láser en alcanzar un objeto y regresar reflejado hasta un sensor. Luego, la diferencia entre tiempos permite determinar la distancia a la que todos los puntos medidos sobre el objeto, se encuentran de la fuente láser, y generar una superficie del objeto. Estos sistemas utilizan circuitos que tienen una precisión de picosegundos, para medir el tiempo que tardan millones de impulsos del láser en regresar al sensor, y calcular las distancias.

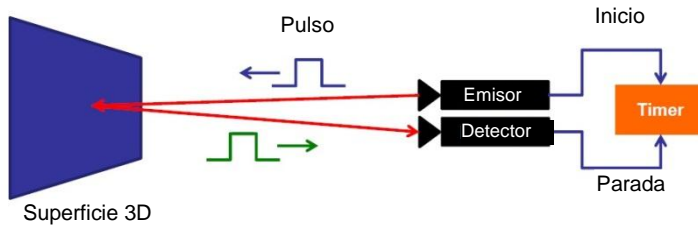


Fig. 15. Esquema de sistema de 3D Scanning Time-of-Flight.
Fuente: Castaneda,V. Time-of.Flight and Kinect Imaging.

ToF por diferencia de fases: Es similar a la tecnología anterior, pero en lugar de medir diferencias de tiempo entre pulsos de láser, se utiliza una luz continua y se mide la diferencia entre la frecuencia de la luz emitida vs recibida. La diferencia entre las fases es proporcional a la distancia del objeto, lo que permite crear una imagen de profundidad del objeto.

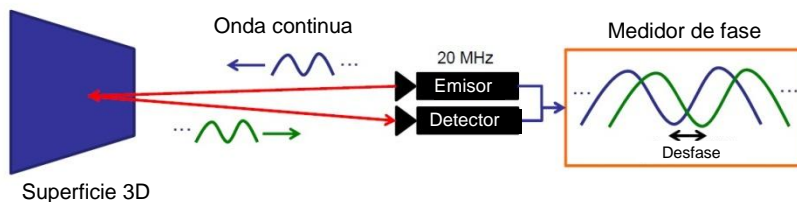


Fig. 16. Esquema de sistema de 3D Scanning Time-of-Flight diferencia fases.
Fuente:Castaneda,V. Time-of.Flight and Kinect Imaging.

Otras tecnologías. Procesamiento de imágenes y modelaje: La tercera tecnología utiliza una técnica mixta de procesamiento de imágenes y técnicas de modelización para la digitalización de objetos. En este caso, las mediciones se realizan en 2D, y a partir de ellas se extrae información suficiente para generar una imagen 3D a partir de algoritmos computacionales. La gran ventaja de esta técnica combinada

(procesamiento de imágenes y modelado) es su precio muy inferior en comparación con la medición real en 3D.

A continuación se presenta un resumen comparativo de las diferentes tecnologías descritas anteriormente:

	Ventajas	Desventajas
Triangulación láser	Más portable Menos preparación del objeto Menos sensible a condiciones ambientales	Poca precisión Generalmente baja resolución Ruidoso
Luz estructurada	Preciso Buena resolución Bajo ruido	Poco alcance Sensible a la textura de la superficie (requiere preparación) Puede requerir iluminación específica.
ToF diferencia de tiempo	Mediano y largo alcance (2-1000m)	Poca precisión Adquisición de datos muy lenta Ruidoso
ToF diferencia de fases	Preciso Rápida adquisición de datos Poco ruido	Sólo mediano alcance

Tabla 3. Comparativa entre las tecnologías de digitalización 3D

Fuente: Desconocida

El autor considera que existen tres factores fundamentales que en el futuro determinarán el uso de alguna de las anteriores tecnologías de digitalización 3D como la más apta para su uso en proyectos asociados a manufactura doméstica: su bajo coste, su buena precisión y su gran soporte tecnológico.

El uso de la tecnología basada en luz estructurada está teniendo un crecimiento importante gracias a los dispositivos como Kinect y podría

ser considerado un factor de cambio en el uso de las impresoras 3D como fábricas personales.

En el Capítulo 3 se estudiarán a fondo los aspectos técnicos, sociales y económicos que están asociados a esta tecnología de digitalización 3D.

2.10 Los objetos digitales

A principios de los '90 junto con el avance de los primeros sistemas de impresión 3D se comenzó a desarrollar software especializado para estos sistemas de manufactura.

El formato STL fue desarrollado por la empresa 3D Systems en 1988 y debe su nombre a la tecnología de impresión 3D desarrollada por estos (estereolitografía) que estableció el estándar que posteriormente sería adoptado por las tecnologías desarrolladas posteriormente. (3D Systems, 1988)

Básicamente un archivo STL corresponde a la definición geométrica de la superficie del objeto mediante una representación triangularizada. La superficie del objeto queda formada por un conjunto de triángulos planos interconectados, cada uno descrito por las coordenadas de sus tres vértices y un vector normal a ellos que indica su dirección. No se incluyen datos de color, texturas ni atributos CAD. Los archivos STL son el punto de partida del proceso de impresión 3D y su calidad repercute directamente en los resultados obtenidos. A menor tamaño de los triángulos, habrá menor error en la representación del objeto. (ProtoRapid.com)

Para obtener la malla STL, el archivo CAD o la nube de puntos proveniente de un escáner 3D debe ser tratada, depurada y transformada para hacerla compatible con los sistemas de manufactura

rápida por impresión 3D. Estos datos serán utilizados por los algoritmos “seccionadores” para determinar la geometría de las secciones transversales a construir para la generación de la pieza.

En el siguiente diagrama se observan las tareas a llevar a cabo para conseguir una malla poligonal a partir de una nube de puntos. La tarea de reconstrucción de la malla, es la que requiere mayores capacidades de cálculo y de la que depende la integridad y calidad de la malla final STL que servirá como base para el proceso de fabricación con impresoras 3D.

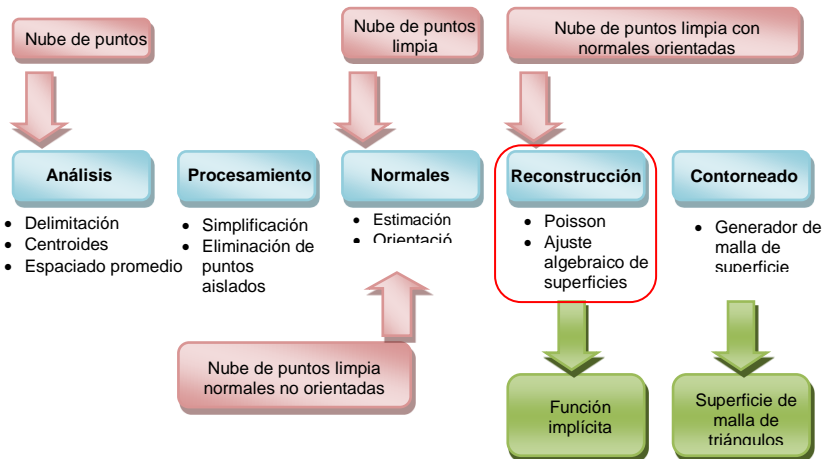


Fig. 17. Etapas del proceso de generación de una malla a partir de una nube de puntos.

Fuente: Proyecto CGal

2.10.1 Proceso de reconstrucción

Todos los archivos digitales, tanto provenientes de escáneres 3D, como de diseño CAD o de webs de intercambio de archivos, deben pasar como mínimo por un proceso de verificación que garantice la idoneidad de la malla digital y por tanto la calidad objeto que se quiere materializar. Una de las técnicas más empleadas en el campo del tratamiento de

modelos digitales, es la reconstrucción de superficies. Esta puede definirse como el proceso que, partiendo de un conjunto dado de puntos que han sido muestreados desde una superficie cualquiera, construye otra superficie tal que los puntos de entrada pertenecen a esta nueva superficie, o bien ésta aproxima a la superficie inicial.

Tomando en cuenta lo anterior, el autor considera adecuado conocer la naturaleza de los algoritmos y técnicas utilizadas en las tareas de refinamiento y construcción de las mallas digitales que posteriormente serán fabricadas mediante impresión 3D. A continuación se describen los algoritmos más conocidos y más utilizados en la reconstrucción de mallas poligonales.

2.10.2 Triangulación de Delaunay

Basado en una red de triángulos que cumple la condición de que al circunscribir una circunferencia/esfera que pase por los tres puntos del triángulo, ningún otro punto/vértice puede quedar en su interior. De esta manera se maximizan los ángulos de los triángulos y se previene la aparición de triángulos muy delgados que tergiversan la malla. (Delaunay, 1934).

2.10.3 Cubos marchantes (Marching cube - MC)

Este algoritmo reconstruye una superficie mediante triángulos, a partir de los cortes planos de un objeto y según un umbral definido, correspondiente a la superficie que desea visualizar. En general, la data volumétrica que maneja el algoritmo es extensa y la cantidad de triángulos que se generan puede sobrepasar el medio millón, creando un problema de espacio de almacenamiento, tiempo requerido para su generación y despliegue. (Lorensen y Cline, 1987)

2.10.4 Triángulos marchantes (*Marching triangle - MT*)

Este método basado en superficies, poligoniza la superficie implícita mediante el crecimiento de una malla triangular de acuerdo con la geometría y topología local. Se establecen restricciones locales para garantizar que la malla triangular cumple la condición de Delaunay y que es una aproximación correcta de la superficie. La triangulación resultante cumple con la restricción de Delaunay y construye una malla de triángulo uniforme, proporcionando una representación eficiente de la superficie implícita. Esta técnica supera las limitaciones de las técnicas basadas en volúmenes implícitos, como Marching Cubes (MC) y además es más eficiente que la triangulación de Delaunay y pueden proporcionar una precisión similar en la reconstrucción. (Hilton y Illingworth, 1997)

2.10.5 Bola-pivotante (*Ball-pivoting algorithm - BPA*)

Desarrollado por IBM. El principio de este algoritmo es simple: una esfera (bola) de un radio específico debe tocar tres puntos de la nube sin contener ningún otro punto dentro. Si es así, el triángulo es correcto. Se inicia con un triángulo “semilla” a partir del cual la esfera pivota alrededor de uno de sus bordes hasta que toca otro punto, verifica la condición anterior, y forma otro triángulo. El proceso continúa hasta que todos los bordes han sido evaluados, y luego comienza a partir de otro triángulo semilla, hasta que todos los puntos de la nube han sido considerados. El BPA se utiliza para conjuntos de millones de puntos que representan digitalizaciones de objetos reales complejos. Se caracteriza por la poca cantidad de recursos computacionales requeridos, la rapidez, y la calidad de los resultados obtenidos. No es apropiado para nubes con densidad de puntos variable. (Bernardini, Mittleman, Rushmeier, Silva y Taubin, 1999)

2.10.6 Reconstrucción de Poisson (PR)

Enfoca la reconstrucción de la superficie como un problema espacial de Poisson. Combina los beneficios de los modelos locales y globales. Globales porque considera todos los puntos a la vez, sin recurrir a la separación o mezcla espacial heurística, por lo que es altamente resistente al ruido de los datos. Locales porque la función implícita se adapta bien a las zonas locales con características propias y se crea una estructura jerárquica que deriva en un sistema lineal disperso, bien condicionado. (Kazhdan, Bolitho y Hugues, 2006)

2.10.7 Mínimos cuadrados móviles (Moving least-square - MLS)

El método combina el streaming y la paralelización, los mínimos cuadrados móviles (MLS), la subdivisión del espacio de adaptación, y la extracción de la isosuperficie regularizada. El sistema es rápido, escalable y preciso. Es capaz de procesar los modelos con varios cientos de millones de puntos en poco tiempo, superando otros algoritmos en términos de precisión geométrica.

El método de reconstrucción de Poisson resulta muy útil para reconstruir nubes de puntos proveniente de sistema de escáner 3D como Kinect®, que asigna la normal a los puntos, además de encontrarse implementado en software de código abierto como MeshLab.

CAPITULO II

1. JUSTIFICACIÓN

Los hitos tecnológicos crean puntos de inflexión en el proceso de evolución tecnológica y en la manera como se hacen las cosas. Aunque la impresión 3D existe desde hace dos décadas y se han desarrollado numerosos dispositivos basados en diferentes tecnologías, no es sino hasta hace dos años cuando la conjunción de varios aspectos ha catalizado su masificación, revolucionado la definición de la palabra manufactura, centrándola en el usuario.

Los motivos que justifican este trabajo son variados, tanto de naturaleza social como tecnológica. Los más representativos para el autor son:

- La consecución del concepto de “fábrica personal” democratizaría la tecnología de impresión tridimensional haciéndola accesible a cualquiera, tecnológica y económicamente, con las ventajas sociales que ello representa.
- Nuevos modelos de prestación de servicios basados en “la nube” facilitan a usuarios “poco técnicos” descargar e instalar servicios de tecnología cada vez más avanzada en forma de paquetes, lo que constituye un medio de soporte esencial para acercar a los usuarios al concepto de la fábrica total en casa.
- La desmaterialización de los centros de soporte técnico, transformados en blogs, wikis, foros y webs de intercambio, como aceleradores de la evolución tecnológica, creando conocimiento compartido y sin fronteras.
- El amplio beneficio que la fabricación personal tendría en diversas áreas como el diseño, la ingeniería, el arte, la animación, la medicina, los videojuegos, las artes militares, y muchas otras.

- Del concepto de “fábrica personal” se desprende un nuevo modelo de negocios que involucra de manera directa e indirecta a otras empresas y trabajadores, en sus formatos tanto físicos, como “on-line” generando riqueza y bienestar social.
- El aporte científico al movimiento mundial de estudio y desarrollo de los “fabber” (dispositivos de fabricación digital).
- La difusión general de información sobre un tema poco abordado como es el de las “fábricas personales”, con la finalidad de crear interés y plegar adeptos en sectores académicos y de investigación.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis es el estudio de los factores de cambio que están propiciando una masificación de las tecnologías de impresión 3D y acercando a los usuarios al escenario de la “fábrica personal”.

Para el cumplimiento de este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Proveer de un comprensivo y profundo análisis sobre el estado del arte de los sistemas de impresión 3D mediante el estudio de la literatura correspondiente.
- Estudiar los factores de cambio que accionan la evolución de las tecnologías de impresión 3D para convertirse en tecnología masiva, accesible para todos los usuarios, posibilitando su uso en un escenario doméstico.
- Caracterizar beneficios y desventajas, alcances y limitaciones de los distintos sistemas de digitalización tridimensional.
- Evaluar cuáles de las soluciones existentes, obtenidas mediante el estudio del estado del arte de los sistemas y la experimentación, se ajustan mejor a los requerimientos de un proyecto de fabricación casera.

3. HIPÓTESIS

La conjunción de ciertos factores sociales y tecnológicos, están produciendo una masificación de las tecnologías de impresión 3D que llevarán al uso de impresoras 3D como fábricas personales.

CAPÍTULO III

1. FACTORES DE CAMBIO

Los últimos años han ocurrido acontecimientos tecnológicos que han roto paradigmas: el nacimiento de “la nube” en internet, que cambió completamente la manera de almacenar información y ejecutar sistemas locales; o el “boom” de las redes sociales que ha definido una nueva manera de relacionarse con los demás; o el surgimiento del código abierto como nuevo estándar de publicación; son algunos de ellos. Estos cambios son detonantes de muchos otros que están por venir y que en muchos casos ya pueden ser predichos.

Es el caso de la manufactura personal, un concepto utópico de hace dos décadas, que hoy día está muy cerca de lograrse gracias a la convergencia tecnológica ocurrida en los últimos años.

Una tecnología disruptiva y varias fuerzas motrices económicas y culturales están dando lugar a lo que se ha llamado la próxima revolución industrial: el acceso público a las herramientas de fabricación digital, software y bases de datos de piezas completas; apoyado en el movimiento tecnológico de “Hágalo Usted Mismo”, y un deseo cada vez mayor de los individuos por personalizar los bienes que consumen. (Mota, 2011)

A continuación, el autor desarrolla una visión propia sobre el estado actual de determinados “factores de cambio” que pueden ser determinantes en el establecimiento de la impresión 3D como tecnología de fabricación personal.

1.1 Aumento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores

En 1975, Gordon E. Moore, cofundador de Intel, predijo que la industria sería capaz de duplicar la cantidad de transistores dentro de un chip de computadora cada dos años. Esta predicción, conocida como "Ley de Moore", se convirtió en una de las tendencias más conocidas en la industria de la computación.

La complejidad de los componentes por coste unitario se ha incrementado aproximadamente a un ritmo de factor dos por año. Ciertamente, en el corto plazo se puede esperar que este crecimiento continúe, o incluso se incremente. A largo plazo, la tasa de aumento es un poco más incierta, aunque no hay ninguna razón para creer que no permanecerá constante durante los próximos 10 años.
(Moore, 1965)

Al examinar la gráfica de crecimiento de la potencia de cálculo por coste unitario, se observa que el patrón de crecimiento va incluso más allá. Es más, la observación indica que la tendencia de crecimiento es independiente de aspectos como la aparición de los Sistemas Integrados a Muy Gran Escala (VLSI), lo que sugiere que el crecimiento de la potencia de cálculo continuará independientemente de que la tecnología actual no lo soporte. Aunque no se puede predecir cómo se va a hacer, ni tampoco afirmar qué tecnología lo hará posible, la tendencia histórica indica que es claramente posible.

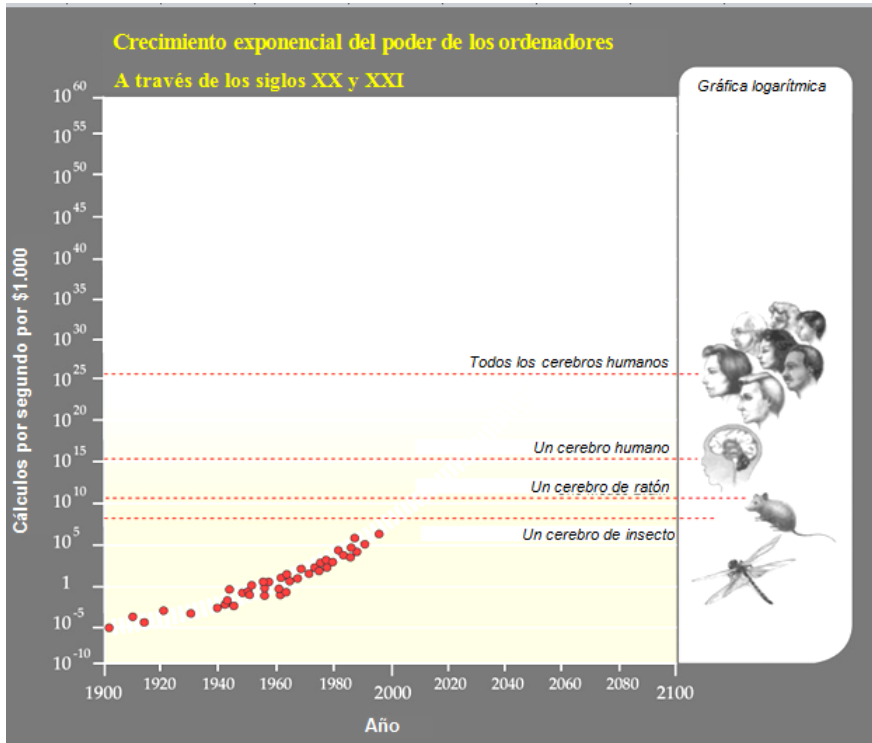


Fig. 18. Evolución de la capacidad de cálculo que compran \$1000

Fuente: Kurzweil, 2005

“La tasa de innovación en tecnologías de la computación no crece de un modo lineal, sino exponencial...no hay razón técnica para que este tipo de crecimiento no se mantenga de ese modo en el siglo XXI” (Kurzweil, 1999)

La gráfica muestra la evolución en la capacidad de cálculo de un ordenador de \$1000 (mil dólares americanos) para varios momentos en el tiempo. Esta cantidad de dinero representa el estándar que paga un usuario promedio de ordenadores, en cualquier parte del mundo y en cualquier momento de la línea temporal. Está claro que no solo los consumidores de tecnología podrán adquirir tecnología de

procesamiento computacional de última generación por el mismo precio, sino que esta será cada vez más poderosa, haciendo posible que conceptos como la “fábrica personal” estén cada vez más cerca desde el punto de vista técnico.

“Los ordenadores que la NASA utiliza ahora para sus misiones son mucho más pequeños y potentes que los ordenadores utilizados por las misiones Apolo. Un teléfono celular tiene más poder de cómputo que las computadoras usadas durante la era Apolo.” (NASA, 2009)

Actualmente los ordenadores de uso doméstico poseen la increíble cantidad de 1400 millones de transistores ($1,4 \times 10^9$) en su núcleo, gracias a la reducción de su tamaño hasta los 22nm (Intel, 2012).

El poder de cómputo requerido para el procesamiento digital de objetos es muy variado y depende de varios factores, como: tamaño y forma del objeto, complejidad del objeto, grado de precisión requerida, técnica empleada, entre otros.

En general, las condiciones más exigentes corresponden a piezas grandes, con formas complicadas en proyectos con solicitudes de resolución altas. Aunque hay maneras de atenuar los requerimientos de cálculo, como dividir la pieza en varias partes y calcular cada una por separado para luego unir las, se asume que estas actividades adicionales complican el proceso, e impactan en la facilidad de uso de un sistema pensado para usuarios domésticos poco especializados. En este caso, se asume que el procesamiento se hace para la parte completa. El tiempo empleado está en relación directa con la capacidad del ordenador, aunque también se ve influenciado por factores inherentes al objeto. En el caso específico de la fabricación personal, el autor asume que la

optimización de los tiempos de procesamiento digital de objetos es poco relevante, en comparación con otros aspectos como el coste y la facilidad de uso.

Uno de los procesos conexos con la impresión 3D es el proceso de adquisición de datos a partir de un escáner 3D. Sin embargo, este no demanda una gran capacidad computacional en sí, pero la manipulación de la enorme nube de puntos si lo requiere. Sólo ahora, el poder de cálculo de los ordenadores permite una gestión efectiva y eficiente en el software de edición de nubes de puntos. De hecho, este incremento del poder de cálculo ha mejorado la velocidad y la precisión de todos los aspectos del proceso de digitalización en cualquier disciplina. (Unver, Atkinson y Tancock, 2006).

Los requerimientos de procesamiento computacional en cada fase del proceso de fabricación de objetos, suponiendo el caso más crítico: la digitalización de objetos/modelos reales hasta la obtención del producto por impresión 3D, se estiman según la siguiente tabla:

Tarea	Exigencia de cálculo (nube de 3MM puntos)
Digitalización 3D	Media-Alta
Manipulación nube de puntos	Media
Conversión a formato malla	Alta
Limpieza y reconstrucción	Alta
Manufactura (CAM)	Baja

Tabla 4. Exigencias de cálculo para procesamiento de modelo digital con nube de 3.000.000 puntos.

Fuente: Autor

1.2 Disminución en el precio de la tecnología de impresión 3D

Las tecnologías de manufactura aditiva han seguido un patrón comparable con el de la Ley de Moore. Las capacidades de los dispositivos están creciendo y los costes están bajando exponencialmente. En 2001, la impresora 3D más barata costaba \$45.000,00, en 2005, el coste había bajado a \$22.900, hoy día se puede comprar una impresora 3D profesional por sólo \$10.000,00, una versión de código abierto por menos de \$4.000,00 y un kit de auto-fabricación de una impresora 3D de escritorio por menos de \$1.500,00. (Igoe y Mota, 2011)

Con la baja de los precios viene la expansión, exponencial también, de la presencia de estos dispositivos en cualquier escenario profesional o particular. La figura muestra un árbol de productos en una línea de tiempo desde la aparición de los primeros modelos de impresoras 3D tanto comerciales como experimentales y conceptuales. (RepRap.org)

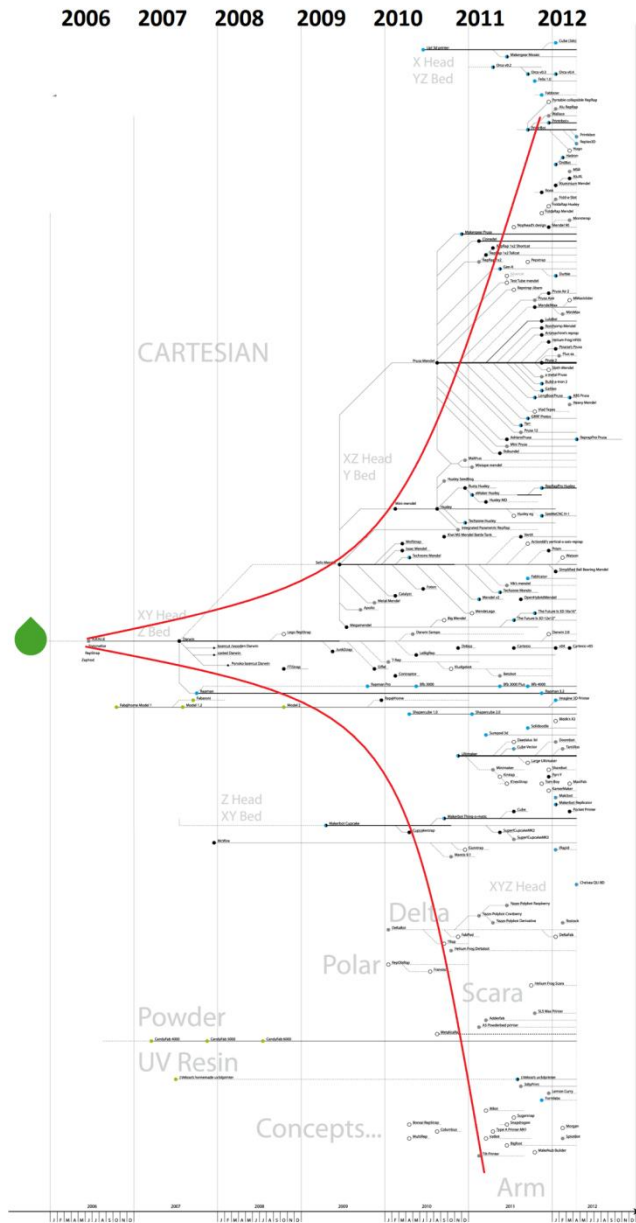


Fig. 19. Aparición de sistemas de impresión 3D sobre una línea de tiempo.

Fuente: RepRap Project

Se observa que existe un patrón de crecimiento exponencial representado por las dos líneas rojas. Con ellas el autor pretende destacar visualmente, el punto de inflexión tecnológico ocurrido hace unos dos años atrás donde la curva abandona su pendiente conservadora para transformarse en el contorno de la gran expansión de tecnologías de impresión 3D en el mercado mundial.

1.3 Proliferación de software y librerías de cálculo de código abierto

El proyecto GNU de software libre, nacido a finales de los 80, representó un cambio de paradigma en la manera de entender la tecnología, haciéndola accesible al mundo.

“El proyecto GNU es, realmente, un proyecto social. Utiliza medios técnicos para provocar un cambio en la sociedad.”
(Stallman, 1986)

La proliferación del software de código abierto ha facilitado el acceso a herramientas de cálculo avanzadas en forma de “productos” a los usuarios promedio. Existen diferentes presentaciones del software de cálculo de código abierto, cada una de ellas es igualmente libre, pero orientada de manera diferente a los perfiles de usuario final:

La publicación abierta de resultados y modelos matemáticos de cálculo: Tienen la forma de modelos matemáticos complejos, que exigen conocimientos avanzados en la manipulación de ecuaciones por parte del usuario, además de habilidades informáticas para su implementación en forma de software. Este método tiene la ventaja de ser totalmente manipulable y flexible a la hora de adaptarlo a requerimientos específicos. Al tratarse de resultados de investigaciones, normalmente son el estado del arte del momento. Ejemplo: algoritmos de Poisson, algoritmos de cubo marchante.

El empaquetado de ecuaciones en forma de “scripts”: Son librerías de archivos de código C, que automatizan el cálculo de las ecuaciones. Por lo general deben ser compiladas por el usuario en software compatible. Tienen la ventaja de que no hay que lidiar con la matemática de los modelos pues ejecutan las funciones de manera automática. Requiere conocimientos intermedios en el manejo de compiladores como Visual Studio o Visual Basic. Ejemplo: Proyecto Cgal, proyecto VCG

El desarrollo de software a usuario final: Se desarrollan a un nivel más cercano con el usuario final, tienen interfaces amigables que facilitan la comprensión e implementación de los modelos. Generalmente no requieren mucho entrenamiento y se consiguen curvas de aprendizaje rápidas. No son flexibles, lo que significa que el usuario no puede modificar la configuración de los modelos aplicados. Ejemplo: Meshlab, Netfabb, ReplicatorG.

1.3.1 Software para reconstrucción de malla

La reconstrucción de la malla, basada en la representación poligonal de la superficie del objeto es una tarea complicada que debe ser llevada a cabo por software especializado. Las aplicaciones de software libre que destacan actualmente son:

Proyecto CGAL

Es una librería de algoritmos geométricos computacionales fundada en 2006 entre varias instituciones europeas. Sus algoritmos están redactados en lenguaje C++ y empaquetados para ser utilizados como pseudo-aplicaciones (se requiere un compilador de lenguaje C). Los paquetes de CGAL están agrupados en categorías de acuerdo al tipo de tarea que realizan. La categoría XI: “Mesh Generation” incluye varios

paquetes de tratamiento de mallas, incluyendo “Surface Reconstruction from Point Sets”, basado en el algoritmo de reconstrucción de Poisson (Kazhdan, Bolitho y Hugues, 2006). Como todos los algoritmos de reconstrucción, el análisis de Poisson requiere un pre-tratamiento de la nube de puntos (reducción, suavizado, remoción de entidades duplicadas y no referenciadas, estimación y orientación de las normales) para lo que la misma librería provee un paquete catalogado en la categoría XII (Geometry Processing) llamado “Point Set Processing” encargado de analizar y procesar conjuntos de puntos desorganizados. (Cgal.org)

Proyecto VCG: MeshLab

MeshLab es un software de código abierto, portable y extensible, basado en las librerías de cálculo del proyecto VCG, ambos desarrollados en el Laboratorio de Computación Visual de la Universidad de Pisa en 2005. Permiten el procesamiento, edición, limpieza, curación, inspección, renderizado y conversión de mallas triangulares 3D no estructuradas. El software ofrece la posibilidad de usar diferentes “filtros” de reconstrucción y remallado, entre ellos: Pivote de bola, cubos marchantes y reconstrucción de Poisson, con una interface sencilla e intuitiva dirigida a usuarios poco o nada entrenados en el manejo y comprensión de modelos geométricos computacionales. (Vcg.sourceforge.net)

Netfabb Studio Basic

Es un software diseñado específicamente para fabricación aditiva, prototipado rápido e impresión 3D. Incluye la capacidad de visualizar, editar, analizar y reparar archivos STL, o archivos basados en secciones en varios formatos. La versión llamada Studio Basic desarrollada en otoño de 2010 es gratuita y funciona bajo Windows / Linux y Mac. Posee interfaz gráfica amigable igual que Meshlab, y existe la posibilidad de

ampliar a la versión Professional (de pago), con mayores prestaciones y herramientas. (Netfabb.com)

1.3.2 Software para impresión 3D

Los modelos comerciales de las impresoras 3D tienen incluido normalmente su propio software de gestión de la impresión. Sin embargo, el desarrollo de hardware “libre” cada vez más presente, ha generado la aparición de impresoras 3D modulares del tipo “Hágalo Usted Mismo”, que cuestan una pequeña fracción de las comerciales y utilizan software de código abierto para llevar a cabo la gestión final de la impresión 3D. El más utilizado es:

ReplicatorG

Es un software de código abierto, basado en los entornos de programación de las plataformas abiertas Arduino y Processing. Ofrece la posibilidad de gestionar la impresión de objetos tridimensionales a partir de archivos STL o mediante entrada de código G. Es utilizado por un gran número de impresoras de “hardware libre” como RepRap, CupCake y Thing-O-Matic. (Replicat.org)

1.4 Proliferación de hardware de código abierto

Se llama hardware “open-source”, o “libre”, a los dispositivos de hardware cuyas especificaciones y diagramas esquemáticos son de acceso público, ya sea bajo algún tipo de pago o de forma gratuita. (Wikipedia, 2012)

La fabricación personal bajo el concepto de código abierto es actualmente una realidad que ofrece a los usuarios la posibilidad de auto-fabricar, modificar o adaptar dispositivos de buen rendimiento a una fracción del coste de una máquina comercial. En los últimos tres años, el interés por la impresión 3D ha crecido y ha visto surgir una gran cantidad

de dispositivos de “código abierto” apoyados en comunidades de entusiastas, ingenieros, inventores, artistas, estudiantes y aficionados, que aportan su conocimiento en la web, en pro de lograr que la tecnología de fabricación personal llegue a los hogares.

Actualmente existen varios proyectos, en diferentes estados de desarrollo, sobre impresoras 3D de bajo coste, o auto-fabricables. Los más importantes son:

1.4.1 Proyecto RepRap

El proyecto RepRap es una iniciativa creada con el propósito de crear una máquina de prototipado rápido libre que sea capaz de replicarse a sí misma. Fue iniciado en febrero del 2004 en la Universidad de Bath en Inglaterra, y persiguen el concepto de la fábrica personal. RepRap está disponible bajo licencia abierta GNU GPL que permite que su diseño y su código fuente se pueda copiar, estudiar, distribuir y mejorar. Su tecnología está basada en la extrusión de termoplásticos. Darwin, su primer modelo ha evolucionado rápidamente hasta Mendel, una segunda generación bastante mejorada. (RepRapWiki)

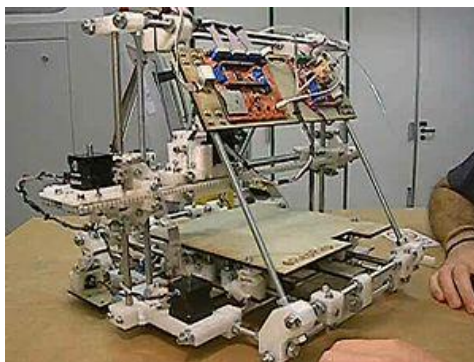


Fig. 20. RepRap modelo Mendel.

Fuente: Wikipedia

1.4.2 *MakerBot Industries*

MakerBot es una compañía fabricante de impresoras 3D de bajo coste. El último producto de esta empresa es el Replicator, lanzado en Enero 2012, una máquina totalmente ensamblada que se vende por \$1.749 con un cabezal de extrusión simple y la posibilidad de equiparla con un cabezal adicional por \$250. El doble cabezal permite crear objetos en dos colores o con dos materiales. Esta última versión viene con una pantalla de LED y una palanca para interactuar directamente sin necesidad de una PC. El Replicator es capaz de crear piezas con un tamaño máximo de 225 x 145 x 150 milímetros, en materiales como ABS, PEAD, PLA y PVA. (Additive3d.com)

La compañía también tiene un sitio web llamado Thingiverse.com, para que los usuarios intercambien sus diseños. Es de código abierto, por lo que miles de diseños están disponibles de forma gratuita.

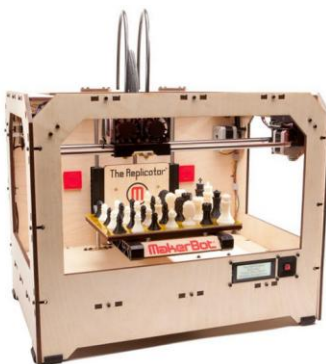


Fig. 21. MakerBot modelo Replicator

Fuente: Makerbot

1.4.3 *Fab@home*

Es un proyecto de código abierto y colaboración masiva orientado al desarrollo de tecnologías de fabricación personal para el hogar. Cuenta con una plataforma digital que agrupa una gran comunidad de entusiastas y profesionales que aportan soluciones de hardware, software o que simplemente quieren fabricar una pieza. El proyecto nació

en la Universidad de Cornell en 2006. Las partes del “Modelo 2” son descargables desde su web. Están basadas en el uso de jeringas para inyectar los materiales y en teoría puede utilizar materiales tan variados como silicona, cemento, acero inoxidable, crema de repostería, queso fundido, etc. (Fabathome.org)

Se estima un coste total de \$2.500,00 en piezas compradas por el usuario. (Additive3d.com)

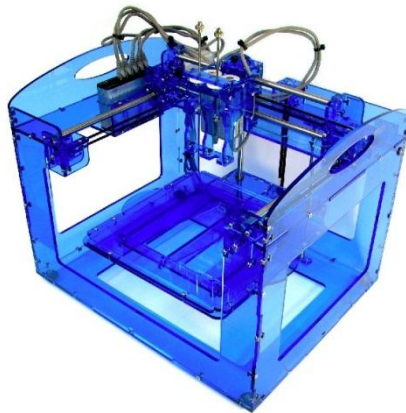


Fig. 22. Fab@Home Modelo 2.
Fuente: Solidsmack.com

1.4.4 *Ultimaker*

Ultimaker es una empresa holandesa dedicada a la fabricación de impresoras 3D de bajo coste. Son distribuidas en forma de kits desarmados. Se basa en extrusión de filamentos. Una de las diferencias respecto a otros proyectos y modelos, es el hecho de mover el cabezal en vez de la plataforma de deposición. Se dice que esto permite aumentar hasta cinco veces la velocidad de operación. El volumen de generación es de 210 x 210 x 220 mm. Los kits tienen un precio de alrededor de \$1.700,00. Principalmente utiliza como material PLA y ABS, pero también ha sido probada con PEAD, PP y PMMA (Additive3d.com)

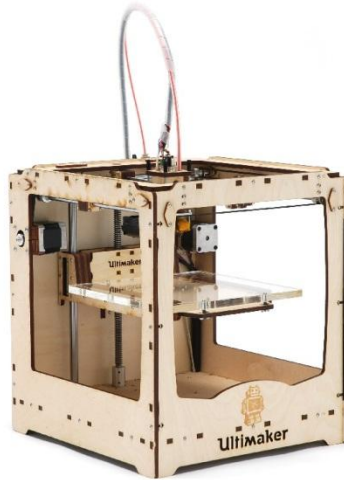


Fig. 23. Impresora 3D Ultimaker.

Fuente: Protoparadigm.com

1.4.5 *SolidDoodle*

Esta fábrica americana fundada en 2011 construye y vende impresoras 3D basadas en tecnología de código abierto, pero diseñadas en un paquete más atractivo. El coste de \$499 la convierte en la impresora 3D más barata disponible en el mercado, incluso considerablemente más barata que la mayoría de los kits. Por \$100 más se puede obtener una máquina completamente cerrada, con una plataforma de construcción con calentador, iluminación interior, y una fuente de alimentación mejorada. La máquina es Plug and Play y opera con una interfaz USB. (Additive3d.com)

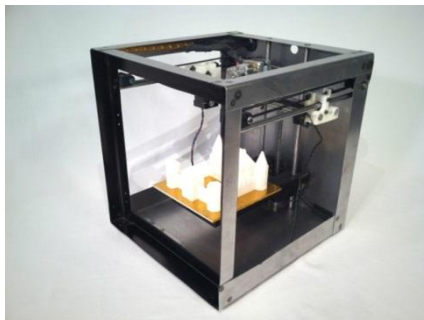


Fig. 24. Impresora 3D Soliddoodle 2

Fuente: www.soliddoodle.com

1.4.6 B9 Creator

Es un kit armable de impresora 3D con fecha programada de lanzamiento para Agosto 2012. Está fabricado en aluminio anodizado y acero inoxidable. La impresora crea objetos sólidos mediante la generación de capas de material a través de un proyector, que se adjunta a la máquina mecánica y hace brillar una luz para “curar” el material de resina, estableciéndolo en su lugar. De esta manera, es capaz de generar modelos supuestamente más complejos y detallados que otras impresoras 3D. El dispositivo es una propuesta independiente de Michael Boyce alojada en el sitio web de proyectos tecnológicos Kickstarter.

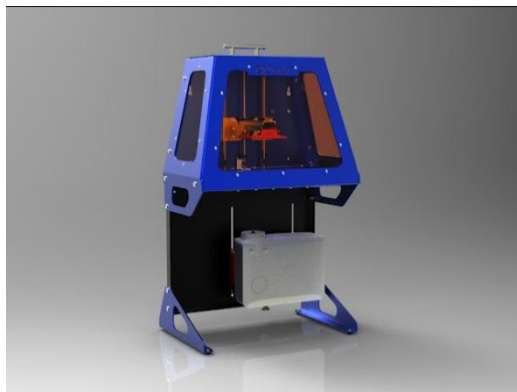


Fig. 25. B9 Creator

Fuente: Kickstarter.com

Además de estos modelos, existen otros que no dejan de ser importantes, y que son resumidos y comparados en una tabla de características. (Ver Anexo 1)

Al mismo tiempo que las tecnologías de fabricación digital se hacen mejores y más baratas, haciéndose accesibles a un mayor número y variedad de individuos y empresas, del mismo modo lo hacen las tecnologías de escaneo 3D.

La introducción de nuevas tecnologías en sistemas de digitalización tridimensional de objetos, como la basada en el análisis de patrones de luz infrarroja para crear imágenes de profundidad (abanderada por los dispositivos Kinect de Microsoft y Xtion de Asus), o la basada en simples fotografías de los objetos (como el Autodesk 123D Catch), han hecho más económico y por tanto más accesible a las personas el uso de la digitalización tridimensional de objetos y entornos.

El caso del dispositivo Kinect de Microsoft es destacable. Lanzado al mercado por Microsoft a finales de 2010 como un dispositivo de juego de manos libres, pronto fue hackeado, y empleado por los usuarios para otras aplicaciones, incluyendo la digitalización 3D. Microsoft captó el potencial del dispositivo y decidió apoyar estas iniciativas lanzando un software de desarrollo en 2012.

Pero la disminución en el coste de los dispositivos de captura 3D por infrarrojos no es el único factor importante, también está el hecho de la enorme cantidad e información que gracias al fenómeno de la internet social, se ha generado y compartido alrededor de estas tecnologías cuya entrada al mercado no supera los dos años (Kinect a finales de 2010, la menos reciente) y que constituye un catalizador de la madurez de estas tecnologías. Por otro lado, el gran apoyo económico en I+D de grandes empresas tecnológicas están acelerando el proceso de consolidación, perfeccionamiento y garantizando la continuidad de estas tecnologías.

Estos desarrollos parecen indicar una evolución de la tecnología hacia costes lo suficientemente bajos para que cualquier persona la pueda adquirir y operar. Por lo tanto, los potenciales usuarios de la tecnología de fabricación personal ahora pueden, además de diseñar sus propios productos y/o comprar o intercambiar modelos 3D para la fabricación;

capturar los objetos físicos y transformarlos en datos digitales para su fabricación.



Fig. 26 .Dispositivo Kinect® de Microsoft
Fuente: Microsoft

1.5 Crecimiento de las cultura “Hágalo Usted Mismo”

El concepto de “Hágalo Usted mismo”, mejor conocido como DIY por sus siglas en inglés, se define como cualquier creación, modificación o reparación de objetos sin la ayuda de profesionales.

De acuerdo con una encuesta realizada por el Instituto para el Futuro, los individuos de la cultura emergente DIY, son considerados como auto-motivados, auto-educados y auto-organizados, y pueden definir a futuro una economía alternativa. Este sector tiende a buscar productos y/o servicios personalizados, y prefieren tener un rol más activo en la creación de sus propios productos, entornos y experiencias, en conjunto con grupos de personas de ideas afines. (lfff.org)

Según investigaciones realizadas sobre un rango de comunidades virtuales DIY (Kuznetzov, 2010) los individuos pertenecientes a esta cultura valoran factores como el intercambio libre de información, el aprendizaje y la creatividad, por sobre la rentabilidad y el capital social. Se hipotetiza que las características y evolución de la cultura DIY son extrapolables al perfil de los usuarios del concepto de la fábrica personal, pues la motivación y los objetivos perseguidos son de la misma naturaleza.

Así, el avance de tecnologías como las redes sociales y las herramientas de intercambio de información, estarían en un punto de madurez suficiente para potenciar el crecimiento y expansión del modelo de la fábrica personal, mediante la consecuente flexibilización del acceso a la información y a la manera de compartirla.

Por otro lado, la fabricación personalizada es gobernada por aspectos emocionales y psicológicos relativamente nuevos como la necesidad de diferenciarse de los demás, de cambiar rápidamente, de expresar emociones y de proyectarse públicamente. Aspectos que se derivan de una nueva manera de interactuar con las personas, en ambientes virtuales cada vez más impersonales, pero colaborativos a niveles muy superiores a los llevados a cabo en el mundo físico.

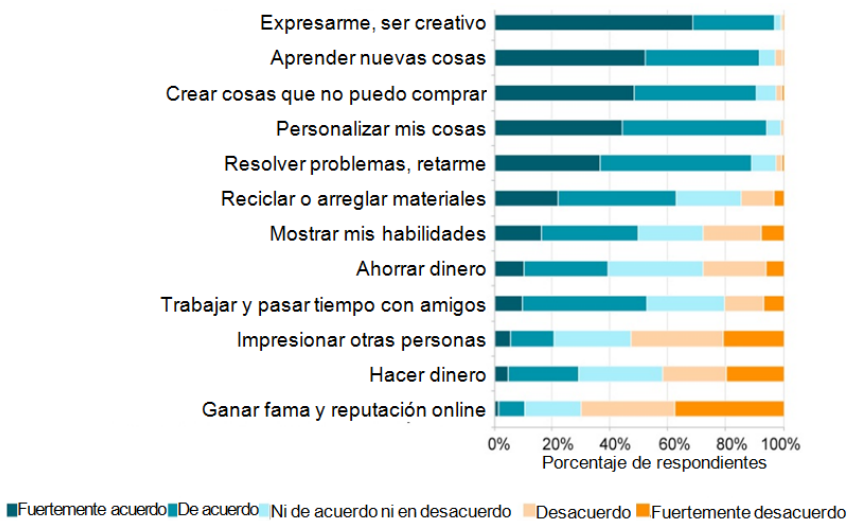


Fig. 27. Motivación para emprender proyectos DIY.

Fuente: Kuznetzov, 2010

Existen actualmente algunas comunidades orientadas al intercambio de información y construcción de conocimiento alrededor de la temática de las impresoras 3D y la fabricación personal. Thingiverse es una inmensa comunidad para el intercambio abierto y gratuito de diseños digitales aptos para fabricación. Es un centro de encuentro para creadores y usuarios donde no hay fines de lucro y la motivación principal es la fabricación personal. Ponoko y Shapeways por su parte cuentan con nutridos foros divididos en áreas de discusión que permiten a los usuarios intercambiar opiniones, información e ideas de resolución de problemas.

1.6 Nuevos esquemas de negocio derivados de la fabricación personal

El nacimiento de los primeros modelos comerciales relacionados con el concepto de la fábrica personal, demuestran que existe una rentabilidad real para los miembros de la cadena de suministro en todo el esquema de manufactura personalizada.

1.6.1 Impresión 3D en la nube

El concepto de “la nube” ha permitido el surgimiento de empresas de servicios de fabricación en línea que satisfacen la necesidad de los consumidores que buscan un producto personalizado, fabricado a pequeña escala o en series cortas y en un tiempo muy corto. El procedimiento común requiere que el usuario proporcione el archivo de fabricación del producto en un formato compatible, normalmente .STL, subiéndolo a un espacio web de la empresa. El archivo puede ser propiedad del usuario, o haberlo escogido de un catálogo en línea de la propia empresa o de terceros. Una vez el archivo ha sido cargado, el usuario puede escoger el material, acabados, resistencias y otras características del objeto. Una vez fabricado es enviado vía correo postal hasta el usuario, en cualquier parte del mundo. Las empresas más

conocidas actualmente son Shapeways, Ponoko, I.materialize, Sculpteo y RedEye.

Si bien el concepto de la “fábrica personal” está más orientado al uso de impresoras 3D en el hogar, el autor piensa que el esquema de fabricación on-line siempre existirá como complemento de los sistemas caseros, pues apuntan a otro rango de requerimientos por parte de los usuarios. Actualmente el alto coste de las impresoras de materiales especiales como el acero, el bronce y los cerámicos, limita a los usuarios la gama de materiales con la que puede fabricar sus objetos en casa, así que acude a las empresas de fabricación on-line. Pero eventualmente los costes irán disminuyendo dando paso a nuevas tecnologías que, debido a su alto coste serán de nuevo ofrecidas a través de este tipo de esquemas.

1.6.2 Diseño para impresión 3D

Con el surgimiento de la impresión 3D y su esquema de negocios web en franco crecimiento, los profesionales del diseño tienen un nuevo canal para mostrar y comercializar sus productos. Se trata de un sistema de ventas bajo demanda, expuesto al mundo, donde el diseñador carga sus creaciones en la web, establece el precio y la empresa cobra una comisión por fabricarlo. La ventaja para el diseñador radica en la desaparición de los costes de inventarios de material y productos excedentes.

Las webs de Sculpteo y Ponoko ya ofrecen a los diseñadores este tipo de sistemas, apoyándolos con una plataforma web que permite a los potenciales compradores visualizar, editar y personalizar aspectos del producto.

El diseño de objetos pensados para ser fabricados mediante impresión aditiva 3D es un campo nuevo, que demanda el conocimiento de nuevos aspectos relacionados con este tipo de manufactura: materiales, precisiones, acabados, tiempos, tamaños máximos, entre otros. El autor propone el término “diseño para impresión 3D” como acrónimo para esta nueva rama dentro del diseño de productos que ya acumula gran cantidad de información técnica que debe ser formalizada.

1.6.3 Empresas de impresión 3D locales

En general, se trata del concepto local y físico de los servicios de impresión on-line. El modelo comercial todavía se encuentra en sus primeras etapas puesto que la demanda vs el coste de instalación sigue siendo aún desproporcionado, lo que no lo hace rentable. Existen sin embargo algunos experimentos respaldados por el capital de instituciones y/o empresas, que complementan servicios de impresión 3D con otros sistemas de manufactura, y han resultado satisfactorios. Entre ellas están los **FabLabs**, una propuesta del MIT para llevar talleres de manufactura asistida por ordenador a las comunidades entre ellas la impresión 3D. (MIT, 2012) Otra propuesta es **TechShop** una iniciativa privada que por una mensualidad de \$175, alquila el acceso a máquinas de manufactura entre ellas las impresoras 3D.(Techshop.ws)

1.7 Desarrollo de nuevos materiales para impresión 3D

Actualmente las impresoras 3D producen objetos a partir de una gran variedad de materiales. Hace unos años sólo se contaba con una limitada cantidad de polímeros, pero hoy día se han incorporado materiales de van desde el acero inoxidable, titanio, bronce y aluminio, hasta los materiales cerámicos e incluso alimentos. La investigación sobre materiales para impresión 3D es intensa y en constante crecimiento. Pero además de nuevos materiales, también se investigan

nuevas tecnologías que permitan fabricar objetos con combinación de materiales diferentes.

La empresa Objet, una de las líderes en el segmento de impresión 3D, por ejemplo, cuenta actualmente con más de 100 tipos de materiales diferentes para ser utilizados por los usuarios. Incluso se habla actualmente de utilizar las técnicas de impresión 3D para fabricar nuevos materiales compuestos a partir de materiales básicos, con propiedades superiores a la suma de sus constituyentes. (Objet, 2012)

1.8 Democratización de la manufactura

En los últimos años se han dado las primeras etapas de la democratización de la manufactura, una tendencia que promete revolucionar el significado de diseño, la producción y distribución de bienes materiales y generar una nueva clase de creadores y productores.

Aunque no es posible asegurar que el esquema de la fábrica personal se convierta en un fenómeno tecnológico de largo plazo, ni predecir con exactitud sus connotaciones sociales, si es posible adelantar escenarios basándose en fenómenos anteriores como la masificación de los PCs y el estudio de los factores de cambio planteados y estudiados por el autor en este trabajo.

El autor plantea dos cualidades intrínsecas de cualquier proceso democrático, que pueden ser evaluadas como indicadores del avance en la democratización de la tecnología de impresión 3D: la participación y el protagonismo.

La manufactura se ha hecho participativa, gracias a la proliferación del conocimiento compartido que se genera en los canales de la web 2.0

como los foros, wikis y blogs. Así, el conocimiento bidireccional, retroalimentado y de libre acceso alojado en cientos de servidores, constituye una fuente viva de información, que evoluciona naturalmente haciéndose cada día más sabia y refinada, y cada vez más rápido. Las curvas de aprendizaje tecnológico se han reducido drásticamente gracias a ello, y las personas son conocedoras de aspectos técnicos considerados como avanzados hace unos pocos años atrás. Estas personas son, al mismo tiempo, constructores y usuarios de los sistemas de conocimiento que soportan la tecnología que mañana dará vida a sus productos.

Por otro lado, la manufactura es cada vez más centrada en el usuario, haciendo a este más protagónico. El concepto de la fábrica personal reduce el mercado y la producción a la unidad, y en consecuencia, el prototipo se transforma en producto. El diseño para las masas es sustituido por el diseño personalizado que adapta el producto a las necesidades individuales de manera perfecta. Se trata de diseño centrado en el usuario, en su máxima expresión, pero sin costes de embalaje, almacén, distribución, ni tiempos de espera.

CAPITULO IV

1. LA FÁBRICA PERSONAL Y EL MERCADO

El escenario de fabricación personal planteado por el autor, se ubica en un punto de la línea de tiempo, en el que el coste de las tecnologías de impresión 3D principales y de apoyo se abaratan hasta el nivel de la tecnología de consumo masivo, y su madurez técnica se encuentra en un punto en el que es posible ofrecer a los usuarios equipos compactos con una buena relación precio-valor.

Bajo estas condiciones, el esquema de manufactura “centrado en la empresa” se convierte en un esquema “centrado en el usuario”, donde el fabricante se convierte en su propio mercado; y siendo el mercado la unidad, los prototipos se convierten automáticamente en productos.

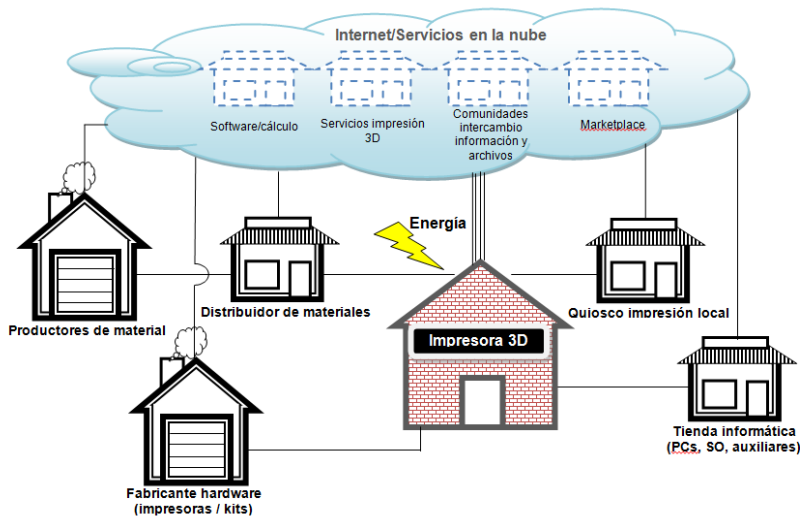


Fig. 28. Escenario de Fabrica Personal.
Fuente modificada: SRI Consulting y autor

El escenario de fabricación personal esquematizado en la Figura, muestra la nueva interrelación entre los factores económicos de la fabricación personal, donde se observa además la omnipresencia de los servicios en “la nube”, como soporte fundamental de las tareas de manufactura, brindando acceso flexible, confiable y económico a herramientas como software, y a sitios de intercambio de conocimiento y servicios. Toda la cadena de suministro se orienta al usuario/fabricante como cliente final, quién luego se convierte en mercado para sus propios productos. En una interpretación abstracta del modelo, podría decirse que se trata de un esquema B2B (Business to Business) en lugar de uno B2C (Business to Consumer). Los proveedores ven modificados su esquema operativo, que en muchos casos no son compatibles con el nuevo modelo de Fabricación Personal:

1.1 Productores de materia prima

Producen la materia prima comúnmente utilizada en impresión 3D como polímeros (PP, PE, ABS, PLA, PA) y metales (acero, aleaciones de titanio y aleaciones de bronce). Normalmente despachan al por mayor a los distribuidores, quienes lo venden a los clientes locales o al usuario final. Su esquema de negocios se ve poco afectado con el nuevo modelo de PF's.

1.2 Distribuidores locales de materia prima

Estas compañías manejan un nuevo modelo de clientes, que requieren pequeñas cantidades de materia prima, muy variada y de manera frecuente, para sus proyectos personales. La logística de distribución puede ser abrumadora. Los clientes pasan de ser unas cuantas fábricas de productos en masa, para convertirse en una masa de individuos que fabrican unos cuantos productos. Las estructuras de precios, logística, mantenimiento, empaque y distribución de la materia prima, por

mencionar algunas, son completamente diferentes y deben ser cuidadosamente estudiadas y resueltas.

La venta en línea es una opción bien valorada por el sector, pues permite automatizar la facturación al mismo tiempo que facilita la expansión del área de cobertura de la empresa. Catálogos de materiales en alta definición en la web, y sociedades con compañías en otras áreas del negocio, son algunas de las herramientas utilizadas para captar mayor cantidad de clientes, factor crítico tomando en cuenta que la venta de materia prima no es un negocio al por mayor bajo este esquema.

1.3 Fabricantes de hardware (impresoras 3D /kits de fabricación)

Según encuesta realizada por el autor, los potenciales usuarios consideran que el coste inicial de una impresora 3D orientada a la fabricación personal no debe superar los \$1000,00. En este sentido, un kit de fabricación (una impresora 3D desarmada) parece la opción que mejor se adapta a este requerimiento, aunque también existen algunas propuestas comerciales pre-ensambladas que oscilan alrededor de ese precio. La I+D (investigación y desarrollo) sobre impresoras 3D de uso casero tiene un fuerte componente “open”, pues si bien es cierto que la investigación formal juega un rol importante, también es cierto que las herramientas web 2.0 han conseguido juntar el interés que existe alrededor de este tema en miles de páginas de experticia y retroalimentación de parte de los entusiastas, lo que acelera la evolución tecnológica de la impresión 3D y acorta su curva de aprendizaje.

Otra tendencia más aventurera, es la de máquinas auto-replicadoras, que son capaces de fabricar una copia de sus propias partes para construir una máquina “hija” similar en prestaciones, por una fracción del precio. El proyecto RepRap es el pionero en este campo, además de otras propuestas comerciales. Aunque la replicación total no es aún

posible, pues entre otras cosas se necesitan partes electrónicas, existe un fuerte movimiento que soporta esta filosofía de manufactura.

1.4 Proveedores de software

La utilización de electrónica abierta (dominada por los sistemas Arduino) ha determinado el uso de software abierto en el sector de la manufactura personal. Informáticos de todo el mundo aportan soluciones creativas en pequeños trozos de código, que ayudan a crear robustos sistemas informáticos, que de otra manera requerirían inversiones millonarias. De nuevo se trata de un componente de I+D que aunque informal, no deja de ser válido. Las versiones de software abierto al igual que los de marca, van evolucionando y adaptándose a nuevos requerimientos, lo que los hace muy atractivos y completamente independientes de los sistemas comerciales. Algunos como MeshLab para tratamiento de nubes de puntos y mallas, y ReplicatorG para gestionar la manufactura por impresión 3D, son un estándar en el sector.

Sin embargo, hay tareas que aún requieren de herramientas comerciales, como el diseño CAD, cuyas contrapartes de código abierto aún se encuentran en una fase inicial de desarrollo. El coste de estas herramientas en general es alto para ser abordado de manera individual por los usuarios de los PF's debido a que las prestaciones de las licencias personales ofrecidas por las casas propietarias están sobredimensionadas si se comparan con los requerimientos para la fabricación personal. En consecuencia, a falta de una solución eficiente de código abierto y/o una versión comercial económica, se produce una proliferación de copias no autorizadas de software, provenientes de comunidades virtuales de "hackers" que se constituyen en grupos de "apoyo" al esquema de fabricación casera.

1.5 Servicios en la nube

“La nube” se trata de un modelo híbrido de software/internet cuya principal ventaja es que permite a los usuarios el acceso a poderosas herramientas informáticas sin la necesidad de costosas instalaciones de software y hardware. Ejemplos de estos sistemas en la nube, son los motores de visualización y edición que han desarrollado las empresas que brindan servicios de impresión 3D en línea. Estas interfaces son verdaderas piezas de software que permiten a los clientes potenciales interactuar con sus modelos antes de fabricarlos. En la Fig. 29 se observa el motor de edición en línea **Cloud Engine** de la empresa Sculpteo, dedicada al servicio de impresión 3D en línea. Esta plataforma permite entre otras cosas, el diagnóstico, reparación y reconstrucción de la malla digital manera sencilla, rápida y automatizada, sin la necesidad de tener instalados potentes procesadores de cómputo, ni software especializado. Igualmente ocurre con la visualización y renderizado de materiales y colores en tiempo real, que demandarían enormes recursos gráficos.

Aunque el objetivo de la fabricación personal no es la tercerización, sino la fabricación en casa, estas plataformas demuestran que actualmente existe la tecnología para desarrollar software de procesamiento digital de mallas en línea, funcional y rápido, que pueda servir a la necesidad de reparar objetos digitales de manera sencilla, sin prácticamente ningún conocimiento al respecto.

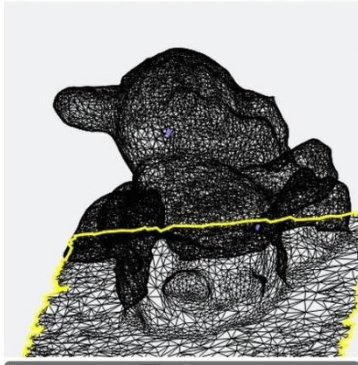
Estas herramientas informáticas en “la nube”, eliminan la barrera tecnológica entre el usuario y el procesamiento informático avanzado, poniendo a su disposición poderosos centros de procesamiento solo con ingresar a la web.

Your design is not printable.

Your design geometry is broken. Try our manual method to repair your design!



PELUCHE OVEJITA
designed by **carillojulioh**



We offer several methods to repair designs. These methods work more or less depending on the case. Try and choose the most suitable for your design.

choose reparation method

show the original design

automatic repair

Manual reparation

try the plugging

try the reconstruction

try the restrained reconstruction

try the hybrid method

diagnostic

Display the 184 border edges

Display the flipped faces

Display the 22 intersecting faces

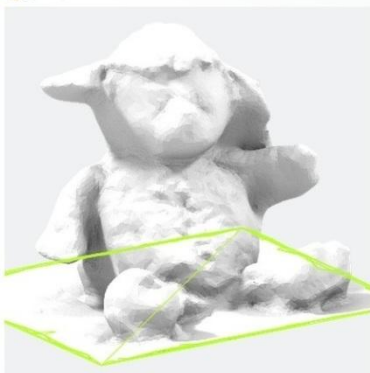
Your model is not repaired yet. Try another method, or try to fix errors on the original model (use the diagnostic tool to spot these errors).

Your design is not printable.

Your design geometry is broken. Try our manual method to repair your design!



PELUCHE OVEJITA
designed by **carillojulioh**



We offer several methods to repair designs. These methods work more or less depending on the case. Try and choose the most suitable for your design.

choose reparation method

show the original design

automatic repair

Manual reparation

try the plugging

try the reconstruction

try the restrained reconstruction

try the hybrid method

diagnostic

Display the flipped faces

Your model has been completely repaired!

The reparation altered 1.93% of the original model.

Save your design if you are satisfied with the result.

Progression

- New repair request
- New repair request
- Snapshotting current model
- Snapshotting current model
- Hybrid method
- Hybrid method
- Computing alteration
- Computing alteration
- New repair request
- Snapshotting current model
- Repair done
- Repair done

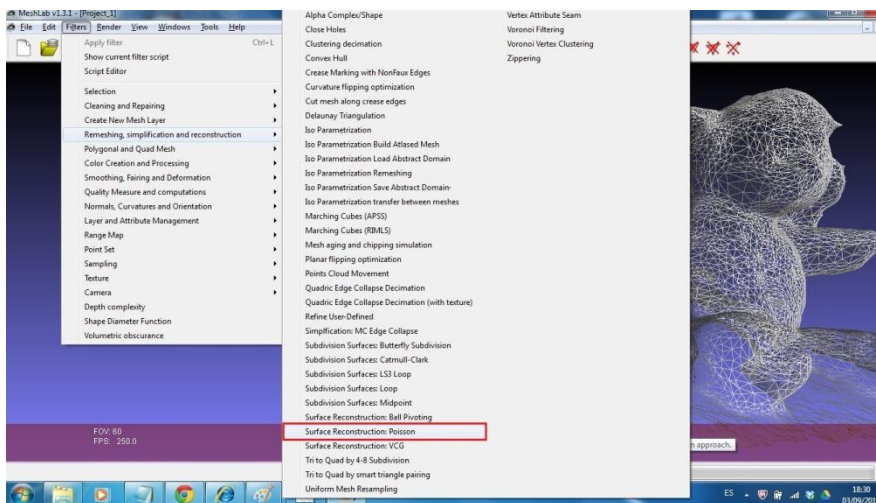
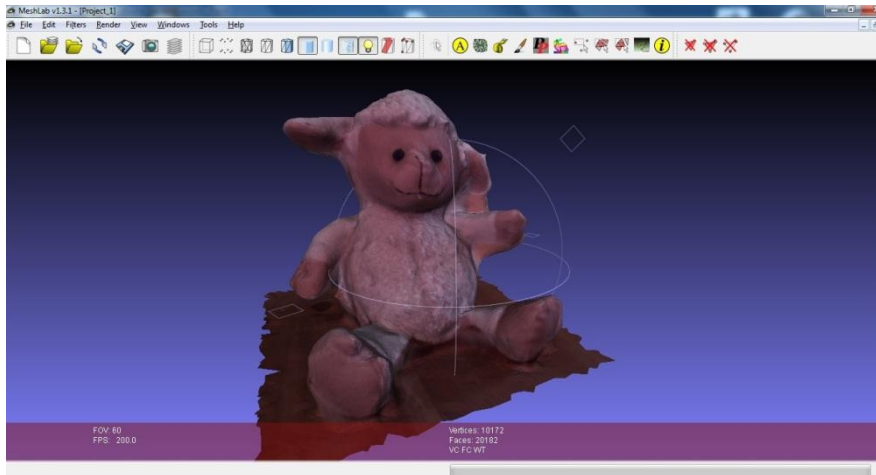


Fig. 29. Ejemplo de software en línea “Cloud Engine” de la empresa Sculpteo vs software Meshlab.

Fuente: autor

1.6 Servicios auxiliares

Los servicios auxiliares sirven de apoyo a las actividades de impresión 3D, como: redes de distribución, tiendas de impresión 3D locales, tiendas de informáticos locales y sistemas de escáner 3D. Su función es la de enlazar eficientemente los aspectos principales del proceso de fabricación desde las primeras etapas.

El estado actual de la tecnología tiene limitaciones, que deben ser cumplimentadas mediante otros procesos de manufactura y mediante la adquisición de piezas estándar (como componentes electrónicos). Es allí donde encajan las tiendas de fabricación locales, nuevos conceptos de negocio que permitirán complementar la fabricación de productos en casa. Por otro lado la necesidad de ordenadores, piezas de recambio, software de SO, redes, etc; requiere los servicios tradicionales brindados por las tiendas informáticas, cada vez más apoyadas en el componente web.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS USUARIOS

Para la segmentación del perfil de usuarios de las PF's se utiliza el conocido método psicográfico de la empresa SRI Consulting: VALS 2 ® (valores, aptitudes y estilo de vida), que define las características conductuales de los individuos y las clasifica según ocho modelos de estilos de vida. El siguiente análisis es similar a uno realizado por la propia SRI Consulting en 1996, con algunas modificaciones por parte del autor. (Hinzmann, 1996)

La dimensión horizontal determina la motivación primaria de los individuos, que puede estar dominada por tres aspectos: los ideales, el éxito o la autoexpresión. La dimensión vertical se rige por el grado de recursos (ingresos, educación, autoconfianza, inteligencia, habilidades de liderazgo y energía) que posee cada grupo social, siendo los "innovadores" los que están en el extremo con más recursos, y los "sobrevivientes" los que menos poseen.

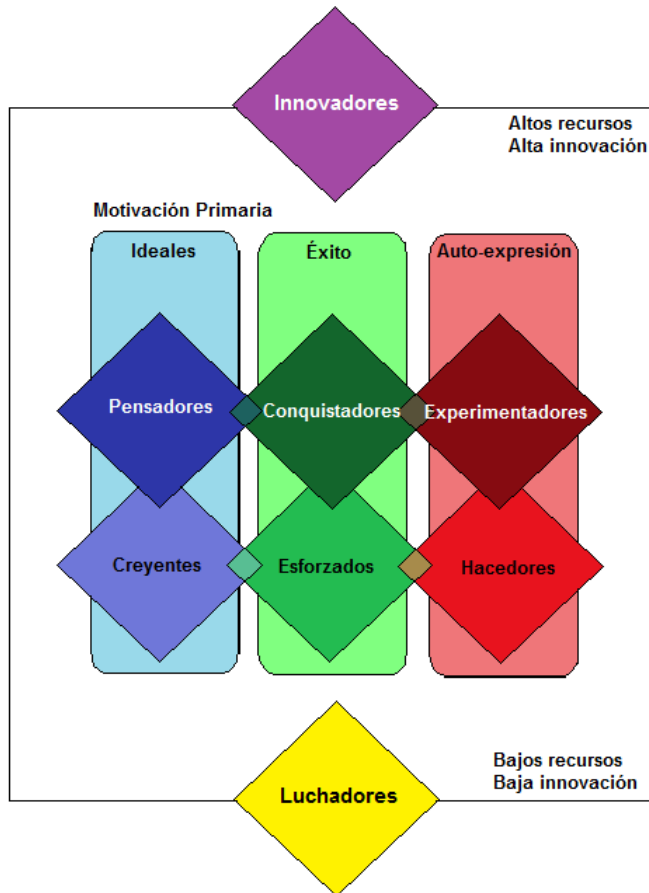


Fig. 30. Esquema general del método VALS.

Fuente: SRI Consulting

El grupo que mejor se adapta al modelo de la manufactura personal es el de los **“Innovadores”**. Estas personas poseen los recursos suficientes (económicos y de conocimiento), la actitud y la aptitud para abordar el esquema de fabricación personal: Son sujetos con alta energía y enorme auto-estima, que no dudan en llevar a cabo sus proyectos. Son líderes propiciadores de cambio, independientes y con carácter de líderes. Pueden estar motivados por cualquiera tendencia (ideales, éxito o autoexpresión). A estas personas les gusta estar a la vanguardia

tecnológica, y aunque pueden comprar lo que quieran, les motiva llevar a cabo proyectos únicos que requieran su propia intervención, o practicar hobbies que representen un reto. Es muy probable que estas personas tengan su propia(s) empresa(s) y que les motive el hecho de imprimir en 3D aspectos de sus proyectos y sus ideas, por el simple hecho de hacerlas físicas. O incluso compartir archivos CAD con socios y colaboradores que luego materializará.

Otro grupo afín a los potenciales usuarios de la impresión 3D personal, es el llamado **“conquistadores”**. Este grupo se encuentra dentro de los que poseen alto nivel de recursos, y está motivado por el éxito. Obtienen satisfacción de sus trabajos y su familia. Son conservadores y respetan el “status quo”. Este grupo espera a que la tecnología tenga éxito antes de aventurarse a usarla y favorecerán aquella que les permita ostentar sus recursos ante sus iguales. Son fijadores de tendencias, por lo que su aceptación de la tecnología abre la entrada a otros grupos.

Por último está el grupo de los **“hacedores”**, que pertenecen a los grupos con pocos recursos, y están motivados por la autoexpresión. Son individuos prácticos que valoran la autosuficiencia. Son familiares, trabajadores y les gusta el entretenimiento físico. Aprecian las herramientas y los equipos prácticos y funcionales. Son los perfectos consumidores de productos DIY. Saben reparar sus coches, hacer su ropa y se enfocan en la acción más que en la planificación. Cuidan su presupuesto. El estatus no figura entre sus prioridades.

2.1 Metodología para la determinación de perfil de usuarios

La metodología consiste en una encuesta en línea, distribuida entre diez comunidades virtuales elegidas como las más activas e influyentes en la temática de la impresión 3D: Ponoko, Stratasys, Shapeways, Thingiverse, I.materialize, Bits from bytes, RepRap, MakerBot, Pp3dp y

3dprinting-forums. La encuesta diseñada para ser contestada en 10 minutos, fue distribuida a través de los foros públicos de discusión de estas webs. Los resultados corresponden a la data de 50 encuestas recibidas a lo largo de dos semanas. Tres áreas fueron evaluadas: (1) perfil general y relación con la impresión 3D, (2) aspectos de uso de impresoras 3D y servicios en línea, (3) potencial de aceptación de la impresión 3D como tecnología casera.

La muestra está conformada por 50 individuos (47 hombres y 3 mujeres). El 64% de ellos con edades entre los 25 y los 44 años. Los campos profesionales predominantes, con el 58% del total, son las ramas de la ingeniería, el diseño, la manufactura y las ciencias informáticas. Un 64% son empleados mientras el resto son trabajadores independientes o emprendedores.

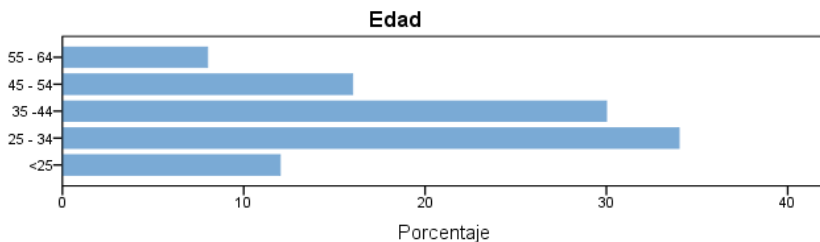


Fig. 31. Distribución de encuestados por edades.

Fuente: Autor

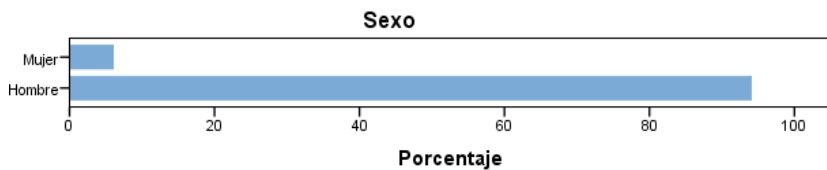


Fig. 32. Distribución de encuestados por sexo.

Fuente: Autor

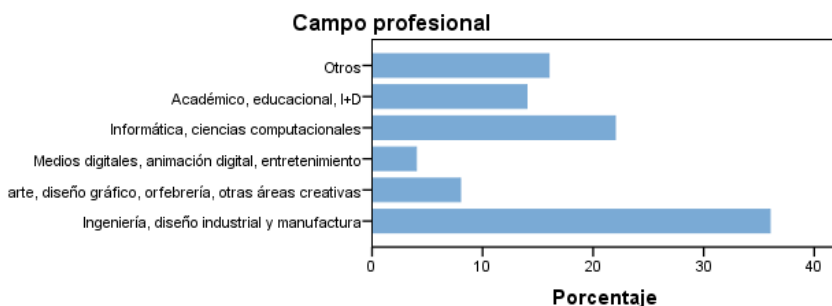


Fig. 33. Distribución de encuestados por campo profesional.

Fuente: Autor

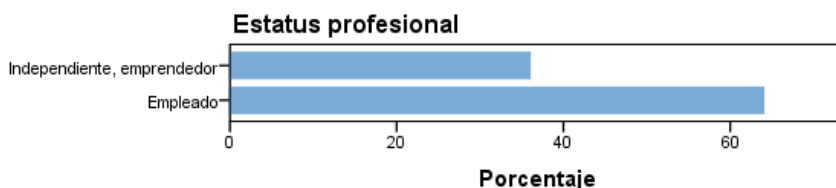


Fig. 34. Distribución de encuestados por estatus profesional..

Fuente: autor

Se quiso determinar el grado de desarrollo de varias aptitudes consideradas como importantes para la manipulación de la impresión 3D. Se valoraron cuatro escenarios relacionados con actividades frecuentes llevadas a cabo durante el uso de la impresión 3D: el manejo de software CAD, el manejo del comercio electrónico, la capacidad de desarrollar pequeños proyectos “hágalo usted mismo” y los conocimientos informáticos. Los resultados muestran que el manejo básico de herramientas informáticas (*sabe como actualizar los controladores de su PC?*) y el uso de software CAD a nivel básico, son las aptitudes mejor valoradas con el 74% y el 68%, respectivamente. Esto puede estar relacionado con la importante cantidad de individuos relacionados con las áreas de ingeniería, diseño y manufactura, donde están presentes estas aptitudes. En general las otras dos preguntas arrojaron también buen nivel de dominio de los escenarios planteados, lo que significa que

los usuarios que frecuentan webs de servicios, o de colaboración en áreas relacionadas con la impresión 3D, poseen dominio del “kit” de habilidades requerido para llevar a cabo las tareas asociadas a la manufactura personal con impresoras 3D.

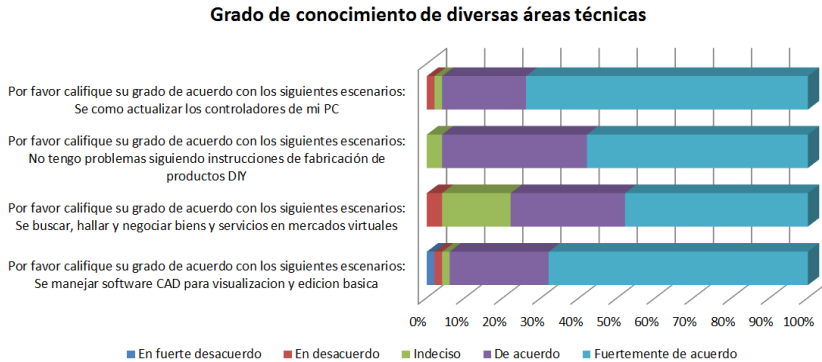


Fig. 35. Grado de conocimiento de diversas áreas técnicas.

Fuente: Autor

2.1.1 Perfil general y relación con la impresión 3D

Los resultados de la encuesta demuestran que alrededor del 52% de los individuos poseen ingresos inferiores al equivalente de \$50.000 al año, cifra que se encuentra en el límite del bienestar y la felicidad (Marist Poll, 2012). Por su parte, del otro 48% con ingresos superiores a \$50.000, solo el 6% posee ingresos superiores a \$150.000. El resto se estratifica en varios niveles de ingreso.

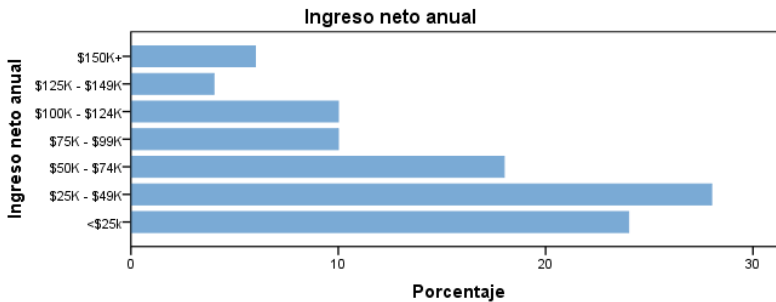


Fig. 36. Distribución de encuestados por ingresos.

Fuente: Autor

En cuanto al tiempo involucrados con las tecnologías de impresión 3D, el 54% tuvo su primer contacto esta hace más de un año, y el 34% hace más de dos años. El 44% de los encuestados aseguró utilizar las impresoras 3D para fabricar varios objetos en una base semanal.

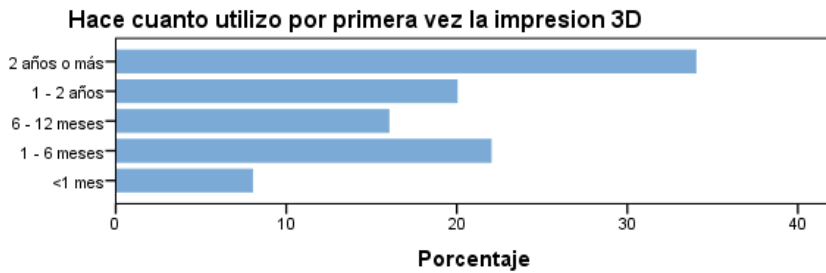


Fig. 37. Tiempo de uso de la tecnología de impresión 3D.

Fuente: Autor

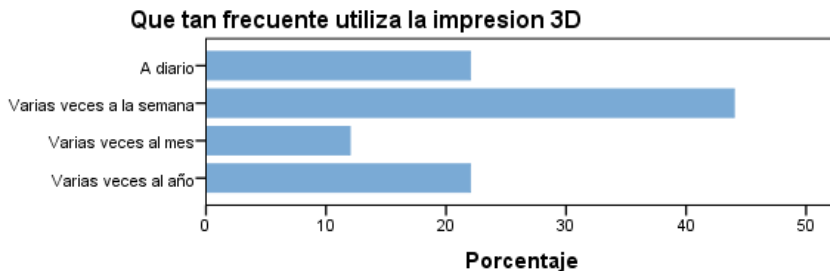


Fig. 38. Frecuencia de uso de la impresión 3D.

Fuente: Autor

2.1.2 Aspectos de uso de impresoras 3D y servicios en línea

La procedencia de los archivos de fabricación se evaluó según tres escenarios: escáner 3D, diseños CAD o web de intercambio de archivos. Los entrevistados debían responder según una escala de frecuencia de uso, su relación con las técnicas. Los resultados reflejan que “siempre” o de manera “muy frecuente”, un 76% los usuarios utilizan diseños CAD como archivos fuente para fabricación en impresión 3D, mientras que aquellos provenientes de servicios web (venta o intercambio) un 40%.

Como dato importante, el 52% de los encuestados “nunca” ha utilizado la digitalización con escáner 3D como técnica de obtención de archivos de fabricación.

Fuente de archivos para impresión 3D

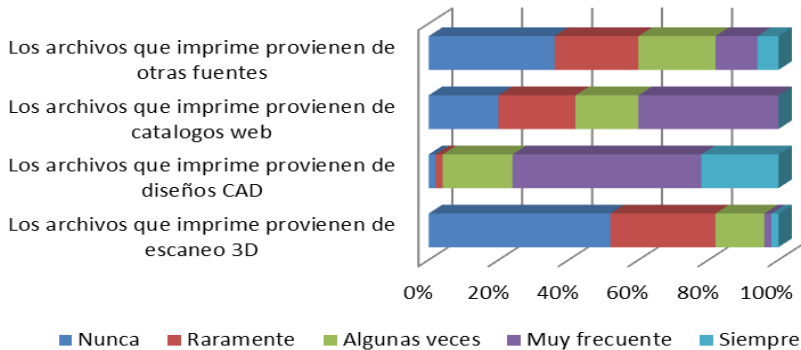


Fig. 39. Fuente de origen de los archivos digitales para impresión 3D.

Fuente: Autor

El 66% de los individuos utilizan de manera “muy frecuente” o “siempre”, las impresoras 3D para imprimir “objetos personales”, seguidas por la fabricación de prototipos (54%) y modelos (54%). Por su parte la fabricación de moldes no parece una actividad muy popular entre los usuarios de impresoras 3D, obteniendo la menor frecuencia de uso: un 50% “nunca” ha utilizado la impresión 3D para fabricar moldes, mientras que un 28% “raramente” lo ha hecho.

Respecto al uso de servicios de impresión 3D en línea, se evaluó la frecuencia de uso de las cinco comunidades más populares y visibles en internet dentro de los últimos seis meses: Shapeways, Ponoko, Sculpteo, Thingiverse y Redeyeondemand.

Tipo de uso

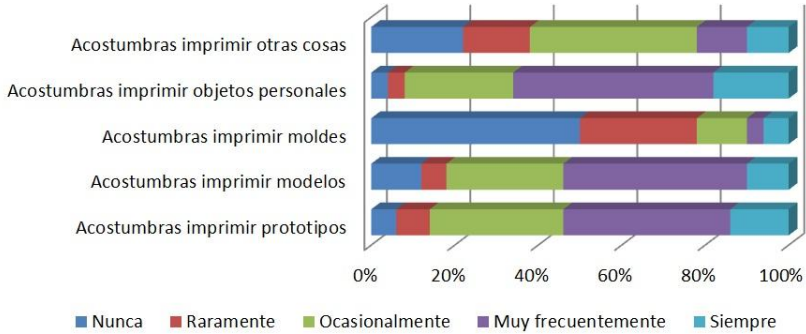


Fig. 40. Naturaleza de objetos más frecuentemente impresos en 3D.

Fuente: Autor

Thingiverse es, con diferencia, la más utilizada con un 54% de individuos utilizando sus servicios “muy frecuentemente” o “siempre” en los últimos 6 meses, mientras que el resto de las webs reflejan unos porcentaje de uso muy bajos: 62% de los encuestados “nunca” han utilizado Shapeways, el 84% “nunca” contrató ningún servicio de Ponoko, la empresa Sculpteo tiene 96% de desuso y Red Eye es la peor posicionada dado que el 98% de los entrevistados aseguró “nunca” haber utilizado sus servicios en los últimos seis meses.

Popularidad de servicios de impresión online

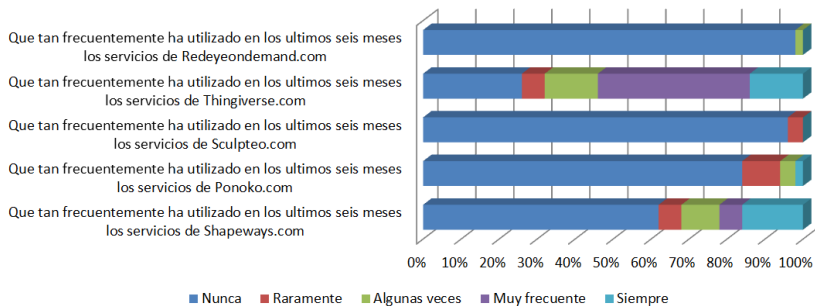


Fig. 41. Popularidad de uso de webs de servicios de impresión en línea.

Fuente: Autor

Por otro lado se evaluó la actividad colaborativa de los individuos en comunidades virtuales (foros, wikis) sobre impresión 3D. Aunque todos afirman haber participado en algún momento, el 44% colabora frecuentemente compartiendo información y experiencias personales con otros miembros de estas comunidades, y el 38% lo hace solo algunas veces.

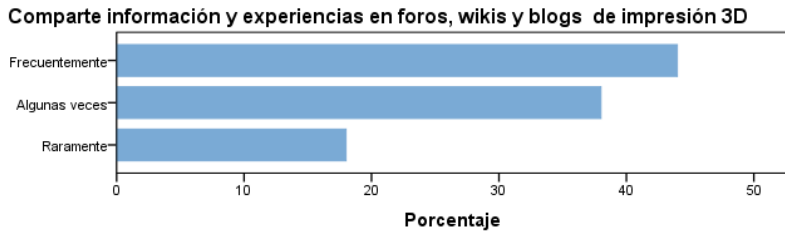


Fig. 42. Tendencia a compartir información en la web..

Fuente: Autor

La motivación para colaborar con estas comunidades se midió según el grado de aceptación de los usuarios con varios escenarios. La tendencia más importante está representada por la totalidad de los individuos, quienes están “de acuerdo” o “fuertemente de acuerdo”, en que la participación en wikis y foros es una oportunidad para aprender cosas nuevas. El altruismo, (ayudar a resolver los problemas de otros) es la segunda motivación más importante con el 84% (34% de los individuos “fuertemente de acuerdo” y 50% “de acuerdo”)

Motivación para colaborar en comunidad virtuales

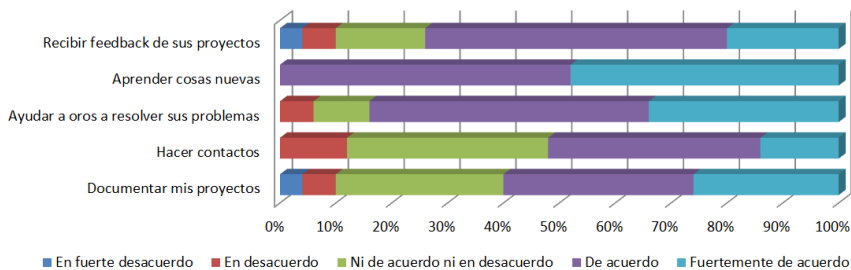


Fig. 43. Motivación para colaborar en comunidades web..

Fuente: Autor

2.1.3 Potencial de aceptación de la impresión 3D como tecnología casera.

Se caracterizan varios aspectos según dos áreas: (1) potencial actual de la tecnología de impresión 3D como PF (2) la visión que tiene el mercado para un futuro cercano. Para la primera área se determinó que el 72% de los encuestados poseen una impresora 3D, número sorprendentemente alto para una tecnología relativamente nueva. El 82% piensa que el coste inicial de una impresora 3D personal no debería sobrepasar los \$1000, y el 66% que los consumibles deben estar alrededor de los \$30 por cada libra (0,45kg) de material. Estos últimos valores son reales hoy día en el caso de michas de las opciones DIY de impresoras 3D, y en algunas versiones comerciales.

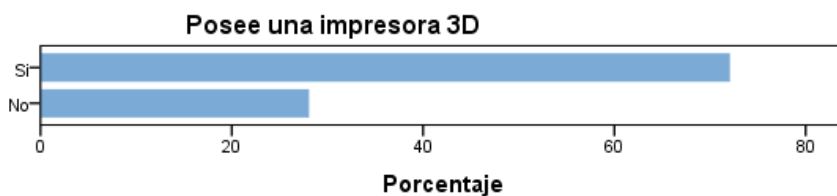


Fig. 44. Porcentaje de encuestados propietarios de una impresora 3D.

Fuente: Autor

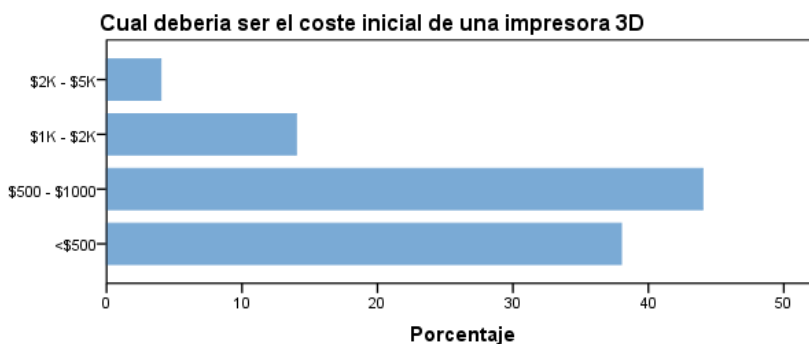


Fig. 45. Opinión sobre el coste mínimo de una impresora 3D personal.

Fuente: Autor

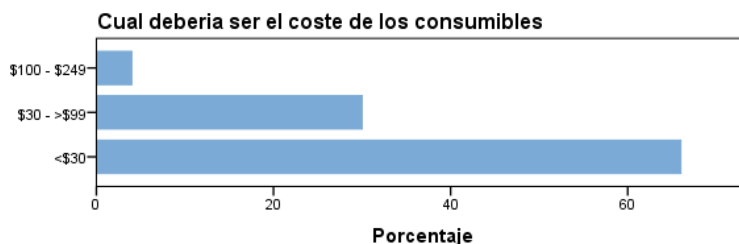


Fig. 46. Opinión sobre el coste mínimo por libra de material consumible.

Fuente: Autor

En otro apartado de la encuesta, se busca conocer los factores técnicos considerados por los usuarios como críticos para una impresora 3D personal. De esta manera se puede contrastar el estado del arte actual de la tecnología versus los valores “meta” arrojados por el estudio de campo, y establecer su grado de avance como tecnología de fabricación personal. La encuesta reveló que el factor *precisión* es considerado como “muy importante” por el 54% de los usuarios, seguido por la *facilidad de uso* (42%) y el *coste* (40%). Cabe resaltar que las opciones “irrelevante” y “de poca importancia” obtuvieron valores muy bajos para estos factores, por lo que su importancia se considera muy baja en la opinión de los encuestados. Los otros dos factores, por el contrario, son evidentemente menos valorados, según se observa en la gráfica.

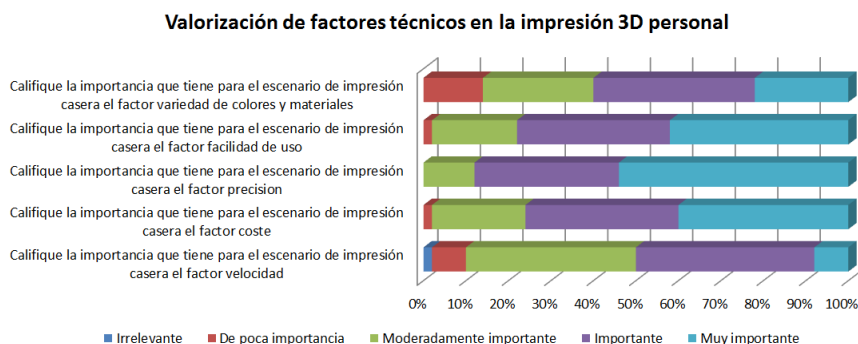


Fig. 47. Opinión sobre factores prioritarios para impresión 3D casera..

Fuente: Autor

Se quiso conocer también si la tecnología de impresión 3D es percibida como peligrosa o insegura para su uso casero. Para ello se indujo a los encuestados a relacionar el uso de las impresoras 3D con niños pequeños. El resultado es alentador, un 70% de los encuestados “muy probablemente” dejarían que sus propios hijos manipularan una impresora 3D, lo que podría significar que la tecnología no es percibida como dañina, tóxica o peligrosa en general y que por el contrario goza de gran aceptación desde el punto de vista de la seguridad.

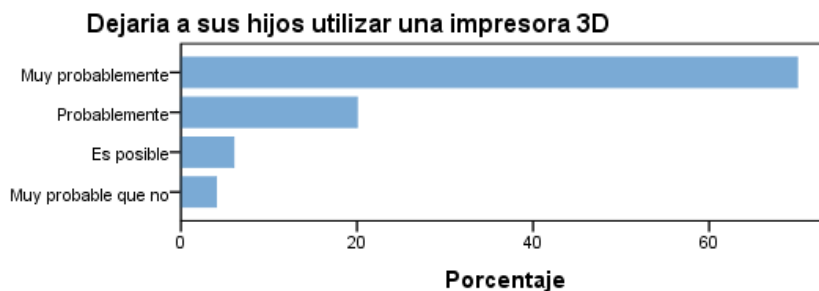


Fig. 48. Percepción de seguridad de la impresión 3D.

Fuente: Autor

Para el área 2, se evaluó la percepción de los encuestados sobre el estado actual y el potencial futuro de la tecnología de impresión 3D como herramienta de fabricación casera. La opinión acerca de la madurez del estado actual de la tecnología es en general positiva, con cierta oposición: el 16% está “fuertemente de acuerdo”, y el 38% “de acuerdo” en que la impresión 3D actualmente está suficientemente desarrollada para ser utilizada con fines de fabricación personal. Un 26% está en desacuerdo con esto.

Sin embargo, la aceptación de la tecnología a tres años en el futuro presenta un incremento de la valoración positiva y una disminución de la carga negativa: un 34% está “fuertemente de acuerdo”, y el 50% “de acuerdo” en que en los próximos tres años la impresión 3D se consolidará como la tecnología base de la fabricación casera. Sólo un

6% está en desacuerdo con esto. El resto de los encuestados están indecisos al respecto.

Cree que la impresión 3D esta suficientemente madura para ser un estandar de fabricacion personal

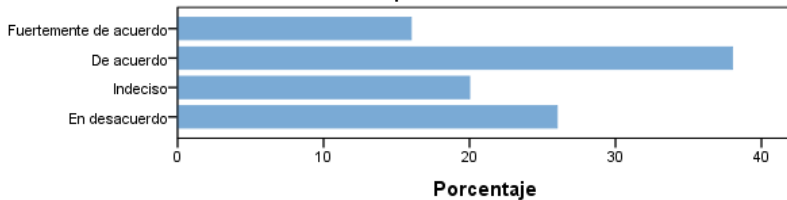


Fig. 49. Percepción de la madurez de la impresión 3D en la actualidad..

Fuente: Autor

Cree que la impresión 3D se convertira en tecnologia de fabricacion personal en los proximos 3 años

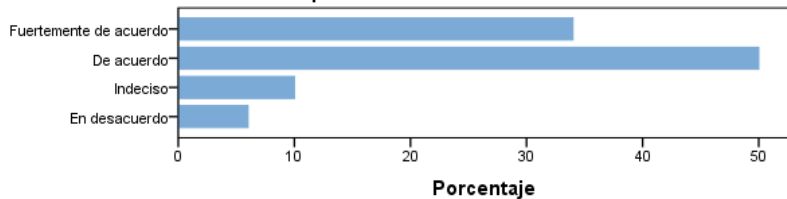


Fig. 50. Aceptación de la impresión 3D a futuro.

Fuente: Autor

3. NUEVAS ESTRUCTURAS EMPRESARIALES

El emergente modelo de fabricación personal necesita nuevas estructuras empresariales, y nuevas concepciones del mercado. La teoría de “la larga estela” (Anderson, 2006) explica adecuadamente el fenómeno que ha estado ocurriendo desde hace unos años con la manufactura (Ver Fig.51): el área izquierda de la curva representa el esquema tradicional de fabricación, donde unas pocas empresas manufacturan grandes cantidades de unos pocos productos demandados por el mercado promedio; en el lado derecho se encuentran los productos minoritarios y menos demandados (productos nicho) representados por el área de la “cola”, más pequeña en perspectiva,

pero que se extiende asintóticamente hasta el infinito. Esta relación inversa entre los dos modelos de empresa se puede describir de una manera sencilla: un modelo está enfocado en vender mucho de poco, y el otro, emergente y no enfocado, en vender poco de mucho. Este último explica el potencial de la impresión 3D como fábrica personal.

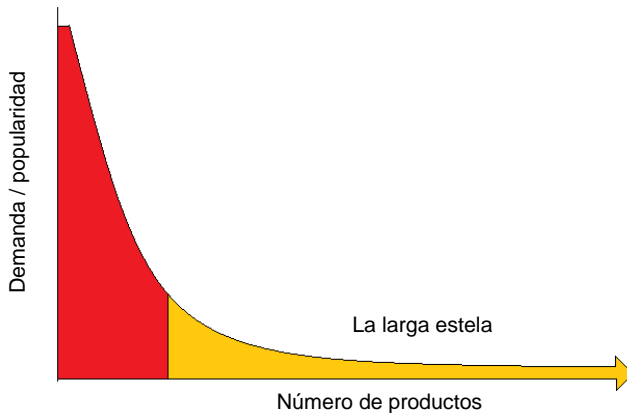


Fig. 51. Teoría de "la larga estela" (The Long Tail).

Fuente: Chris Anderson, 2006

El área bajo la curva derecha representa un sector de negocios tan sustancioso como el tradicional, y está creciendo en los últimos años gracias a la democratización de la tecnología. En la Fig. 52 se observan las diferencias existentes entre el modelo tradicional de manufactura y el modelo emergente adaptado a la fabricación "poco de mucho" que define a los PFs.

El cambio transformativo sucede cuando las industrias se democratizan, cuando son arrancadas del dominio exclusivo de las empresas, los gobiernos y las instituciones, y entregados a la gente común. Internet democratizó la publicación, la difusión y las comunicaciones, y la consecuencia fue un aumento

masivo en la participación y el número de participantes en los medios digitales – se conoce como: la larga estela de bits. Ahora está ocurriendo lo mismo con la fabricación – será: la larga estela de los productos. (Anderson, 2006)

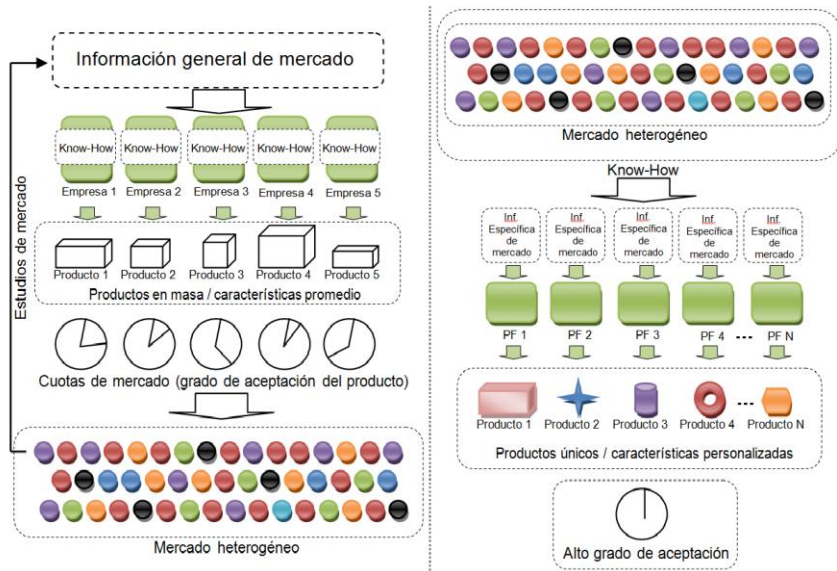


Fig. 52. Esquema productivo tradicional vs esquema basado en Fábricas Personales

Fuente: Autor

En la Fig. 52, el lado izquierdo resume el esquema de producción tradicional: unas pocas empresas conceptualizan productos basados en estudios de mercado (que reflejan los deseos de la mayoría, pero no de todos) y los materializa según su know-how particular (el saber hacer particular de cada empresa) mediante técnicas de fabricación masiva, utilizando máquinas industriales diseñadas para trabajar 24/7. El resultado de cada empresa es valorado en dinero, y depende del grado de aceptación de sus productos en el mercado.

El lado derecho de la figura presenta un nuevo modelo de negocios: Aguas arriba del proceso, los usuarios/fabricantes definen los

requerimientos de los productos que desean, basándose en sus propias experiencias, emociones y sensaciones. El know-how se traslada desde las empresas a los usuarios, quienes configuran aspectos productivos en sus máquinas hogareñas, y finalmente materializan un producto que satisface al mercado, que ahora se ha convertido en un solo individuo: ellos mismos. El resultado de este modelo no se puede medir con dinero, pues no hay transacción económica entre el fabricante y el usuario final. En cambio existe un componente emocional, pues el alto grado de personalización que ofrece este tipo de manufactura dota a los objetos de una alta carga afectiva (objetos celebrativos, conmemorativos, rituales, entre otros) conectados a un nivel personal con los usuarios, características que no puede ofrecer la manufactura tradicional.

4. BARRERAS

Si bien la impresión 3D promete revolucionar la manufactura, existen algunas barreras que deben ser superadas antes de que esto ocurra a gran escala. A continuación se revisan algunas de las más importantes:

4.1 Velocidad

Los tiempos de fabricación aún son muy largos para ser “prácticos” en un esquema de uso personal. Las velocidades de los dispositivos actuales varían mucho, pero oscilan alrededor un par de centímetros por hora, para algunas máquinas de coste intermedio. Sin embargo la velocidad es mucho menor para aquellas máquinas económicas más accesibles al usuario general.

4.2 Derechos de autor y propiedad intelectual

Uno de los aspectos más complicados alrededor de la impresión 3D es el de la propiedad intelectual de los diseños que se intercambian y de los que se fabrican. Debe existir un control tanto para los archivos digitales, como para los objetos físicos que se fabrican, sin embargo, es difícil de

controlar debido a la enorme complejidad del esquema. Por otro lado, en el diseño de objetos para impresión 3D es bastante posible que sin darse cuenta se incorporen elementos protegidos por patentes.

Algo parecido a lo que ocurrió y sigue ocurriendo con la música, software, películas y libros comenzará a ocurrir para los objetos. Pero a diferencia de los medios digitales, los objetos fabricados con tecnología de impresión 3D no pueden ser firmados digitalmente, así que en muchos casos se desconocerán los autores y se infringirán leyes de propiedad intelectual sin estar al tanto de ello. En caso de productos levemente modificados por terceros, y comercializados no está claro dónde termina el delito y dónde comienza la creación de obra propia. Para resolver esto, nuevos modelos de propiedad intelectual y nuevos modelos de negocios deben desarrollarse antes de que ocurra la masificación de la tecnología impresión 3D, a fin de disminuir el impacto entre los creadores.

CONCLUSIONES

En los últimos dos a tres años los dispositivos compactos de manufactura aditiva llamados “impresoras 3D” han llamado la atención de diferentes sectores (empresas, gobiernos, sociedad) debido a su enorme potencial para convertirse en herramientas de fabricación rápida de consumo masivo. Este hecho está conllevando inevitablemente a un proceso de cambio de paradigma cada vez más centrado en el propio usuario como hacedor de sus productos, a quien se transfiere parte del “know-how” técnico requerido para desarrollarlos. Este escenario es conocido por algunos autores como la “fábrica personal”, y está ocurriendo a un ritmo constante y consistente con el desarrollo de la tecnología que lo hace posible.

Los factores tecnológicos, económicos y sociales más importantes estudiados por el autor, que están conduciendo un cambio desde la manufactura tradicional hacia un escenario de manufactura personal, diferente a todo lo que se conoce actualmente, incluyen:

- El aumento exponencial de la capacidad de procesamiento de los ordenadores que permiten hoy día el desarrollo fluido, eficiente y rápido de aplicaciones de manipulación de imágenes digitales, CAD, algoritmos geométricos, manufactura asistida, etc. a costes asequibles.
- La disminución del coste de tecnología de impresión 3D, debido por una parte a la mayor penetración del mercado y su consecuente baja de precios; pero por otro lado gracias al desarrollo de tecnologías de bajo coste basadas principalmente en la extrusión de filamentos plásticos.
- Al punto anterior se le suma el boom del código abierto, que ha permitido también el desarrollo de impresoras 3D y software

relacionado, mediante proyectos abiertos al mundo a través de comunidades virtuales de colaboradores.

- El nacimiento y consolidación de la cultura “hágalo usted mismo” (DIY) ha fomentado la aparición de nuevos grupos de mercado con perfiles bien característicos, dotados de las habilidades necesarias para construir sus propios artefactos, y motivados en gran parte por la necesidad de auto expresarse, y de contar con alternativas de bajo coste de buen desempeño.
- La rentabilidad de nuevos modelos de negocio relacionados con la impresión 3D han resultado rentables, lo que comienza a llamar la atención de nuevos emprendedores que se encargarán de tejer la red de suministro a futuro. Servicios de impresión 3D en línea, quioscos de impresión local, pequeños laboratorios de fabricación por membresía, entre otros, comienzan apenas a surgir.
- El desarrollo de nuevos y variados materiales, han permitido hacer más versátil la impresión 3D: una gran variedad de plásticos, algunos metales como titanio, acero y aleaciones de bronce y unos pocos cerámicos, constituyen la actual oferta , que sigue creciendo gracias a la I+D de empresas e instituciones.
- El sueño de la democratización de la tecnología, determinada por la masificación de las comunicaciones, de la información y del conocimiento. Los usuarios reclaman más libertad en el acceso a la manufactura y exigen la transferencia del “saber hacer” de sus productos favoritos, para hacerlo del dominio público. Enormes desafíos respecto a las leyes de propiedad intelectual se pueden vaticinar al respecto.
- El mercado está preparado para el cambio y lo está esperando. Así lo demuestran algunos resultados relevantes de la encuesta aplicada: un 84% de los encuestados están “de acuerdo” en que la impresión 3D se convertirá en la tecnología indiscutible de fabricación personal en los próximos tres años. Son individuos

jóvenes (25 - 44) habilidosos con el uso de la tecnología y acostumbrados a la colaboración en comunidades virtuales. Con perfiles psicométricos variados, considerados como innovadores, generadores de cambios, ávidos de tecnología y hábiles con las manos.

RECOMENDACIONES

A la academia:

- Desarrollar y expandir grupos de consultoría, investigación y servicios relacionados con el área de la manufactura personal.
- Incorporar formación práctica en el área de impresión3D mediante asignaturas de manufactura rápida para las carreras de diseño industrial y todas las ingenierías.

A las autoridades:

- Llevar esta formación tan abajo como sea posible en la escala educativa pública, de manera de iniciar el contacto con la manufactura a temprana edad e incentivar el desarrollo de habilidades técnicas y emprendimiento industrial.

A los emprendedores:

- Evaluar la oportunidad de negocios que representa la impresión 3D, un campo en pleno crecimiento que promete tocar prácticamente todos los campos profesionales.

REFLEXIONES

- En el escenario de la PF el perfil del individuo es una dualidad usuario/ fabricante.

- En el escenario de la PF, el fabricante se convierte en su propio mercado.
- Si el mercado es la unidad, los prototipos se convierten en productos.
- Existen diferencias entre manufactura personal y manufactura casera?
- En la fábrica personal la manufactura deja de ser “centrada en la empresa” y se hace “centrada en el fabricante/usuario”
- Al vender a un “fabricante” el esquema se convierte en Business to Business(B2B)
- Los clientes pasan de ser unas cuantas fábricas de productos en masa, para convertirse en una masa de individuos que fabrican unos cuantos productos

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- El impacto de los sistemas de digitalización 3D de código abierto como Kinect® en la consecución de los PF's.
- Estudio de nuevos escenarios empresariales y nuevos esquemas en la cadena de suministro para la fabricación personal.
- Desarrollo de metodología “Diseño para impresión 3D”, que formalice el marco para el desarrollo de los aspectos técnicos, productivos y estéticos en el diseño de productos personales por medio de la impresión 3D.

REFERENCIAS

- ADAMS, B. y H. LIPSON. *A Unifying Framework for Self-Replication Phenomena*. Cornell University Preprint. 2003
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*. ASTM F2792-12a, 2012
- ANDERSON, C. *The Long Tail: How Endless Choice Is Creating Unlimited Demand*. Random House Business. Julio 2006. ISBN 978-1847940360
- BERNARDINI, F et al. *The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction*. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Octubre-Diciembre 1999 , pp 349-359.
- BETZ, D y EDWARDS, J. Entrevista a Richard Stallman. En Byte. Julio 1986.
- BUCHART, C; AMUNDARAIN, A y BORRO, D. *3-D Surface geometry and reconstruction: developing concepts and applications*. National Institute of Technology, India, Febrero de 2012. Pp 91-113
- BURNS, M. *Perspectives on stereolithography: automated fabrication in the 19th, 20th, and 21st centuries* [en línea]. Ennex Corp (coord.) Keynote address to stereolithography users group conference and annual meeting. San Francisco, California: 31 Marzo de 1992. Disponible en Web<<http://www.ennex.com/~fabbers/publish/199203-MB-SLAPerspec.asp>>
- CASTANEDA, V y NAVAB, N. *Time of Flight and Kinect Imaging* [apuntes]. Computer aided medical procedures. Universidad Politécnica de Munich. 2011
- CIGNONI, P; SCOPIGNO, R. *Sampled 3D models for CH applications: a viable and enabling new medium or just a technological exercise?*. Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH). Vol 1, No 1, Junio 2008. Article No. 2. New York, USA

CUCCURU, G et al. "Fast low-memory streaming MLS reconstruction of point-sampled surfaces". En *Graphics Interface*. Pages 15-22, May 2009.

DELAUNAY, B. *Sur la Sphere Vide*. Boletín de la Academia de Ciencias de la URSS, Clase de Ciencias Matemáticas y Naturales, 7:793--800, 1934

EBRAHIM, M. *3d Laser scanners: history, applications and future*. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Assiut. Egipto, Octubre 2011

EXCELL, J; NATHAN, S. *The rise of additive manufacturing* [en línea] The Engineer, 24 de Mayo de 2010. Disponible en Web <<http://www.theengineer.co.uk/in-depth/the-big-story/the-rise-of-additive-manufacturing/1002560.article>>

GERSHENFELD, N. *Fab: the coming revolution on your desktop: from personal computers to personal fabrication*. Basic Books, 2005. ISBN 0-465-02745-8

GERSHENFELD, N. *Bits and Atoms* [keynote] O'Reilly Media Inc. Emerging Technology Conference, 55 minutes, 25.3Mb. Grabado el 16 de Marzo de 2005

GIBSON, I; ROSEN, D y STUCKER, B. *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*. Springer Science y Business Media, Londres 2010.

GUTH, R. How 3-D Printing Figures To Turn Web Worlds Real. *The Wall Street Journal*, 12 de Diciembre de 2007.

HILTON, A y ILLINGWORTH, J. *Marching Triangles: Delaunay Implicit Surface Triangulation*. Visión, Speech and Signal Processing Group. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad de Surrey, RU. 1997

HINZMANN, B. *The Personal Factory*. MCB Internet Conference on Rapid Prototyping, 1996

“History of Stratasys Inc”. En: *International directory of company histories*. Vol.67, 3era edición. St. James Press, 2005. ISBN 1-5586-2512-7

HULL, C. *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*. United States Patent Nº 4.575.330. 11 de Marzo de 1986.

IGOE, T y MOTA, C. A strategist’s guide to digital fabrication. *Strategy+Business*. No 64. 23 de Agosto de 2011.

INSTITUTE FOR THE FUTURE. *Manufacturing: Do It Yourself?*. 2009. Disponible en Web <<http://www.iff.org/node/2786>>

KARLGAARD, R. *3D Printing will revive American manufacturing* [en línea]. Forbes, Sección Tech, 23 de Junio de 2011.

KAZHDAN M, BOLITHO M y HUGUES H. “Poisson surface reconstruction”. En *Actas del Cuarto Eurographics: Simposio sobre el procesamiento de la geometría*. 2006. Pp. 61 – 70.

KUZNETSOV, S y PAULOS, E. “Rise of the Expert Amateur: DIY Projects, Communities, and Cultures”. En *Actas del Nordic Conference in Human-Computer Interaction - NORDICHI 2010*

LORENSEN, W y CLINE, H. “Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm”. En *Actas del 14º Conferencia anual en computación gráfica y técnicas interactivas - SIGGRAPH 1987*. Pp 163-169

MARIST POLL. *Generation to generation: money matters*. Abril 2012

MCKEOUGH, T. Murray Moss on Putting Sex Back Into the Bed of Ware. *The NY Times*. 7 de Septiembre de 2011.

MOORE, G. Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, Vol 38, No 8. 19 Abril de 1965.

MOTA, C. The Rise of Personal Fabrication. En *Actas del 8º ACM conference on Creativity and cognition - C&C '11*. 2011. Pp 279-288

SILVERSTEIN, J. Organ printing could drastically change medicine [en línea]. *ABC News*, 10 de Febrero de 2006

REEVES, P. *Direct Rapid manufacturing of metallic parts. A UK industry overview*. Econolyst, Febrero 2008.

REYES, G. Sin Título [presentación]. Barcelona Institute of Packaging. 2012

SELLS, E. "Towards a Self-Manufacturing Rapid Prototyping Machine". Tesis Doctoral, Universidad de Bath. Departamento de Ingeniería Mecánica. Reino Unido, Enero 2009.

THAYER, J. "Competitive strategic advantage through disruptive innovation". Tesis de Master. Instituto Tecnológico de Massachusetts, 15 de Mayo de 1996.

UNVER, E.; ATKINSON, P. y TANCOCK, D. Applying 3D scanning and modeling in transport design education. *Computer-Aided Design and Applications*. Vol 3, Núm 1-4. 2006. Pp41-48

WOHLERS, T. History of additive fabrication (Part 1). *Wohlers report 2007*. Wohlers Associates, 03 de Enero de 2008. ISBN 0-9754429-3-7

Páginas Web

<http://www.cs.jhu.edu/~misha/Code/PoissonRecon/Version4/>

http://www.cgal.org/Manual/latest/doc_html/cgal_manual/Surface_reconstruction_points_3/Chapter_main.html

<http://vcg.sourceforge.net>

<http://www.replicat.org>

<http://www.additive3d.com>

<http://www.reprap.org/wiki/RepRap/es>

<http://fab.cba.mit.edu/>

ANEXOS

ANEXO 1. TABLA COMPARATIVA DE IMPRESORAS 3D DISPONIBLES EN 2012

Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo servicio anual	Peso y tamaño.	Tamaño de pieza	Materiales	Coste materiales	Velocidad	Precisión	Acabados	Ventajas	Desventajas
RepRap Project <i>(Self-replicating RP Machine)</i>	Mendel (second generation) Details here...	thermoplastic extrusion [Most machines based on RepRap have very similar specs.]	\$300 [Minimum price for a complete kit, with average about \$500.]	\$10 (a little lubrication, once in a while)	20x16x14 in WxDxH approx. 16 lbs	8x8x5.5 in WxDxH approx.	PLA, HDPE, ABS & more. Uses 0.125" dia filament	\$7 to \$14 per lb	slow, equivalent to 0.92 cu in per hour deposition rate	nozzle resolution 0.020 in; 0.080 in min. feature size; 0.004 in positioning accuracy; layer thickness 0.012 in	fair to poor	<ul style="list-style-type: none"> Lowest-cost Highly-adaptable : allows customization for specific applications 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Do-It-Yourself from top to bottom. - Not appropriate for the mechanically, electronically, software-ally disinclined Only fair quality parts and models so far
Solidoodle	SD1001-A Details here...	thermoplastic extrusion	\$499 [fully-assembled]	N/A	11.75 x 11.5 x 11.75 in WxDxH 17 lbs.	6x6x6 in	ABS; PLA; other plastics possible	Low, includes small roll of ABS. \$22 per lb for ABS	slow	Diameter of nozzle 0.014"; typical layer height: 0.012 in, but 0.004 in possible; X-Y accuracy: + - 0.004	fair to poor	<ul style="list-style-type: none"> Very low-cost for an assembled unit Low-cost materials Heated build platform available for +\$50 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Only one extruder so no support material or multi-material operation possible Not easily modifiable by user for special requirements

												Available strong enclosure, lighting, other amenities at small additional cost	Slow process
3D Systems	Cube™ Shipments started 5/25/12 Details here...	thermoplastic extrusion	\$1,299 [fully-assembled]	N/A	14x14x18 in WxDxH 9 lbs.	5.5x5.5x5.5 in	ABS in 10 colors; Material cartridge cost \$49, but net amount for that price is unknown	Purchase includes one cartridge of ABS.	slow (no spec available)	layer thickness 0.010 (accuracy specs not available)	fair to poor	Low-cost Several colors of material available, but only prints one at a time Easy-loading material cartridges Integrated with creation community Cubify™	Somewhat Lower resolution One extrusion head, cannot be expanded for a second or soluble support material Not modifiable by user for special requirements A single, probably expensive, material supplier
PP3DP Company (China)	UP! Personal Portable	thermoplastic extrusion	\$1,499 [assembled]	N/A	9.5x10.5x14 in WxDxH	5.5x5.5x5.5 in WxDxH	ABS	\$22/lb.	poor	+/- 0.008 accuracy; 0.010 to	fair to poor	Low-cost No data available on material costs	Slow process

Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo servicio anual	Peso y tamaño.	Tamaño de pieza	Materiales	Coste materiales	Velocidad	Precisión	Acabados	Ventajas	Desventajas
							<ul style="list-style-type: none"> • d polyvinylchloride (UPVC), and polylactic acid (PLA) 			<ul style="list-style-type: none"> • whichever is greater; z axis: +/- half the processed z resolution ; 0.005 in layer thickness 		<ul style="list-style-type: none"> • ns • Good material selection • Low-cost materials • Quiet, clean operation 	
Ultimaking Ltd. (Netherlands)	Ultimaker Details here...	thermoplastic extrusion	\$1,700 [kit]	N/A	14x14x15 .3 in WxDxH 18 lbs.	8.25x8.25 x8.25 in	Primarily PLA (polylactic acid) & ABS. Also tried with HDPE, PP, PMMA	PLA from the company is less than \$14/lb, but any supplier may be used.	150 mm / sec (said to be > 5 times as fast as similar competitors.)	+/- 0.002 in x/y tip positioning accuracy; 0.0004 in (10 microns) layer thickness	fair to good	<ul style="list-style-type: none"> • Large build volume for outside dimensions • Fast operation relative to similar machines • Improved finishes relative to similar machines • Material can be changed while printing • Low- 	<ul style="list-style-type: none"> • Slow process • Do-It-Yourself - Not appropriate for the mechanically disinclined • Lacks heated build platform • Hand finishing and post-processing of parts required • No second head for a support or additional material

<p>MakerBot Industries</p>	<p>Replicator™ Details here...</p>	<p>thermoplastic extrusion</p>	<p>\$1,749 [assembled] +\$250 [second extruder]</p>	<p>N/A</p>	<p>18.4 x 15 x 12.6 in WxDxH approx. Shipping weight: 30lbs</p>	<p>8.9 x 5.7 x 5.9 in</p>	<p>ABS, PLA; other plastics possible PLA or ABS: \$22 to \$25 per lb; water soluble PVA: \$40 per lb</p>	<p>Low</p>	<p>Speed: 40 mm/s; Material flow rate: approx. 24 cc/hr</p>	<p>Positioning Accuracy: 2.5 microns on Z-axis; 11 micron on X&Y-axes; actual part res. not spec'd; typ. z-layer ht. is 0.008 to 0.012 in</p>	<p>fair to poor</p>	<p>cost</p> <ul style="list-style-type: none"> • Highly-adaptable : allows customization for specific applications • Good material selection • Low-cost materials • Quiet, clean operation • Low-cost • Low-cost materials • Capable of depositing 2 colors or materials simultaneously • Highly-adaptable : allows customization for specific • Slow process • Kit version not available for lower cost
-----------------------------------	--	--	---	------------	---	---------------------------	--	------------	---	---	---------------------	--

<u>MaukCC (Netherlands)</u>	Cartesio M <u>Details here...</u>	<u>thermoplastic extrusion</u>	€ 1,450 (US\$1,827) [kit]	\$50 / yr	20 x 16.1 x 14.6 in LxWxH 26 lbs.	7.9 x 7.9 x 7.9 in	PLA, HDPE, ABS & more	Approximately \$17/lb, any supplier may be used.	X/Y: 71 in/sec Z: 47 in/sec	X/Y/Z: 0.004 inches; layer thickness 0.004 to 0.016 inches	fair to good	<p>applications</p> <ul style="list-style-type: none"> • Heated build platform • Website for users to exchange designs, but that's open-source so anyone can use it • Capable of mounting choice of several tool heads <ul style="list-style-type: none"> • Slow process • Do-It-Yourself - Not appropriate for the mechanically disinclined • Hand finishing and post-processing of parts required • No second head for a support or additional material • Highly-adaptable : allows
---	---	--	---------------------------	-----------	-----------------------------------	--------------------	-----------------------	--	-----------------------------	--	--------------	--

												<ul style="list-style-type: none"> customization for specific applications Good material selection Low-cost materials Quiet, clean operation 	
Fab@Home (Your home!)	1 Details here...	syringe deposition	\$2,500 [parts only, if purchased by user]	N/A	18.5x16x18 WxDxH	8x8x8 in	Anything you can squirt. Tried so far: silicone, epoxy, cheese, chocolate, frosting, clay, PlayDoh, plaster	very low	poor	+/- 0.004 in	poor	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Low-cost Highly-adaptable : allows customization for specific applications Low-cost materials 	<ul style="list-style-type: none"> Slow hardening times for materials tried so far Do-It-Yourself - or at least some assembly required - Not appropriate for the mechanically disinclined Poor quality parts and models so far
Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo servicio anual	Peso y tamaño.	Tamaño de pieza	Materiales	Coste materiales	Velocidad	Precisión	Acabados	Ventajas	Desventajas
Bits From Bytes (UK)	3DTouch™	thermoplastic extrusion	\$3,500 single	N/A	20x20x23 in	10.8x10.8 x 8.3 in	ABS, High density	Starts at less than	15 mm ³ / sec (max);	x, y axes: +/-	fair to poor	Up to 3 deposito	Slow process

[Owned by 3D Systems]	Details here...	head \$3,900 two heads [US prices] [assembled]	WxDxH 79 lbs.	WxDxH (single head; decreases with add'l heads)	polyethylene (HDPE), low density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP), unplasticized polyvinylchloride (UPVC), and polylactic acid (PLA) (PLA also used for supports)	\$20/lb.	print & polymer dependent	greater of 1% of object dimension or +/- 0.008 in; z axis: +/- half the processed z resolution (min. z-axis res. 0.005 in	n heads (+\$385 ea)	<ul style="list-style-type: none"> Low-cost Good material selection Low-cost materials Quiet, clean operation Low cost materials 	<ul style="list-style-type: none"> Lacks heated build platform 	
LeapFrog	Xeed™ [Shipments start Aug., 2012] Details here...	thermoplastic extrusion \$6,250 [fully-assembled]	N/A	31.5 x 23.6 x 19.7 in DxWxH weight unknown	14.6 x 13.4 x 11.4 in	ABS, PLA, PVA	ABS approx. \$14/lb	Speed X & Y axes: up to 1.0 m/s; Extrusion speed: 200 mm/min	layer thickness 0.004 Positioning accuracy: 0.0005 in; Extruder nozzle: 0.008 in	fair to poor	<ul style="list-style-type: none"> Second extruder available for +\$200 Largest print volume available in this class of machine Heated build platform Low-cost for extremely high resolution 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Not modifiable by user for special requirements
Asiga	Freeform Pico Details here...	Photopolymer exposed by deformable mirror device \$6,990 [assembled]	N/A	8.6 x 8.9 x 20 in WxDxH 22 lbs.	30x40x100 mm WxDxH	Choice limited to 2 photopolymers	\$350 for 500 ml or roughly \$320/lb.	good	+/- 0.002 accuracy (50 microns); 38 micron (0.0015	excellent	<ul style="list-style-type: none"> Very small build envelope Expensive materials but 	

Fabricante	Modelo	Tecnología	Precio	Costo servicio anual	Peso y tamaño.	Tamaño de pieza	Materiales	Coste materiales	Velocidad	Precisión	Acabados	Ventajas	Desventajas
<u>Beijing TierTime Technology Co. Ltd.(China)</u>	<u>Inspire S200 Details here...</u>	<u>MEM (Melted and Extrusion Modeling)</u>	\$10,000	N/A	24.8x26x37.8 in WxDxH 140 lbs	5.91x7.87 x7.87 in WxDxH	ABS	\$79/lb	poor	layer thickness: Adjustable 0.010 to 0.014 in; accuracy: 0.008 in over 4 inches, 0.040 min feature size	fair	<ul style="list-style-type: none"> materials and support removal system included Deposition heads are replaced with material cartridge Strong, durable parts Technology has reputation for reliability Quiet, clean operation Dual nozzle head for dispensing support materials 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Limited material selection Material cost somewhat high
<u>3D Systems</u>	<u>V-Flash™ Details here...</u>	film transfer of photopolymer	\$9,900	N/A	31x27x26 in HxDxW; 145 lbs	7x9x8 in WxDxH	photopolymer	\$850 for a cartridge containing 104 cubic in of mat'l; cost is	0.4 in/hr (Z-Axis)	layer thickness: 0.004 in; resolution : 768x1024	good	<ul style="list-style-type: none"> Low cost for stereolithography-like quality 	<ul style="list-style-type: none"> Limited material selection Materials mechanical

									approx \$9/cubic in or \$214/lb.	x2000 DPI (xyz), equiv. to: +/-0.009 in (x-y); min. vert. wall thickness approx. 0.025 in (0.64mm)	<ul style="list-style-type: none"> Accuracy, resolution & finish; (potentially improvable, as well) Speed Mechanical components subject to wear included in materials cartridge 	properties & durability <ul style="list-style-type: none"> High-cost Materials
<u>3D Systems</u>	ProJet™ 1000 and ProJet™ 1500 Details here...	film transfer of photopolymer	ProJet™ 1000: \$10,900 ProJet™ 1500: \$14,500	N/A	22x36x29 in WxDxH; 122 lbs	ProJet™ 1000: 6.75x8x7 in ProJet™ 1500: 6.75x9x8 in WxDxH	photopolymer	Estimate \$120/lb. or approx. \$4 to \$5 / cubic inch	0.5 in/hr; 0.8 in/hr high speed mode (Z-Axis) for ProJet™ 1500	layer thickness: 0.004 in; 0.008 in high speed mode for ProJet™ 1500 resolution : 1024x768 DPI (xy) ; min. vert. wall thickness 0.025 in (0.64mm) ; min. feat. size 0.010 in	<ul style="list-style-type: none"> Low cost for stereolithography-like quality Accuracy, resolution & finish Speed Choice of color materials 	<ul style="list-style-type: none"> Limited material selection Materials mechanical properties & durability High-cost Materials

													(0.254mm)
Dimension	uPrint™ SE	Fused Deposition Modeling (FDM)	\$13,900	N/A	26x26x30 in WxDxH; 132 lbs	8x6x6 in	ABS plastic with soluble supports	\$115 to \$185 per lb	poor	0.010 in layer thickness	fair	<ul style="list-style-type: none"> Strong, durable parts FDM reputation for reliability Quiet, clean operation 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Material cost is relatively high
	uPrint™ Plus SE		\$18,900	N/A		8x8x6 in	ABS plastic in several colors with soluble supports			0.010 or 0.013 in layer thickness			
Hewlett Packard	Designjet 3D Printer	Fused Deposition Modeling (FDM)	\$17,000	N/A	26x26x30 in WxDxH; 132 lbs	8x6x6 in	ABS plastic with soluble supports	\$115 to \$185 per lb [Stratasys prices.]	poor	0.010 in layer thickness	fair	<ul style="list-style-type: none"> Strong, durable parts FDM reputation for reliability Quiet, clean operation 	<ul style="list-style-type: none"> Slow process Material cost is relatively high
	Designjet 3D Color Printer		\$22,000	N/A		8x8x6 in	ABS plastic in several colors with soluble supports			0.010 or 0.013 in layer thickness			
3D Systems [formerly a product of	ZPrinter® 150	three dimensional printing (3DP)	\$14,900 [64 color-capable version	N/A	29x31x55 in; 365 lbs	9.3x7.3x5 in	plaster composite, elastomeric, direct	plaster: \$0.60 per cubic in	excellent [0.8 inches/hour]	300x450 dpi; layer thickness	fair	<ul style="list-style-type: none"> Fastest of all available technology 	<ul style="list-style-type: none"> Removing parts from machine and cleaning them

Z Corp.]		\$24,900.]				casting, investment casting		0.004 in		ies	can be messy	
										<ul style="list-style-type: none"> Moderately wide material selection Low-cost materials 	<ul style="list-style-type: none"> Poor material mechanical properties Finishes not as attractive as other technologies 	
Acme Design Co.	Monolith™ Details here...	Photopolymer exposed by spatial light modulator (SLM)	\$14,950 [assembled]	N/A	21x18x71 in WxDxH 135 lbs.	16.88 x 9.5 x 33 inches (X, Y, Z)	Present choice limited to 2 photopolymers from Acme, but others should be possible	\$61.88/lb or \$2.14 per cubic inch	excellent; 1.12 inches per hour (Z height)	<ul style="list-style-type: none"> XY resolution : 0.0088 in; Z resolution : 0.004 in; True positional accuracy not specified 	<ul style="list-style-type: none"> Enormous build envelope Very fast operation Quiet, clean operation Moderate photopolymer cost 	<ul style="list-style-type: none"> Somewhat limited resolution Not modifiable by user for special requirements

ANEXO 2. ENCUESTA ON LINE APLICADA

3D print in the road to personal fabrication

This survey is part of a PhD work from Department of Engineering Projects at Universidad Politecnica de Valenca, Spain. The main goal is to determine the actual acceptance of 3D printing and its potential to become a widespread technology for home use. The test is designed to be filled in 10 minutes. We appreciate your collaboration. Data and information gathered here are for only use of this research and will not be shared, sold or yielded to third parties. Contact info: jucardua@etsid.upv.es

Age *

Sex *

Occupational
field *

Your occupational status is: *

- Employee
- Freelance, entrepreneur

Your anual net income is: *

- < \$25K
- \$25K - \$49K
- \$50K - \$74K
- \$75K - \$99K

- \$100K - \$124K
- \$125K - \$149K
- \$150K +

How long since you first used 3D print technology? *

- < 1 months
- 1 - 6 mo.
- 6 - 12 mo.
- 1 - 2 year
- 2+ years

How often do you use 3D printing? *

- Daily
- Several times a week
- Several times a month
- Several times a year
- Never

The files you 3Dprint, come from: *

	Never	Rarely	Sometimes	Very often	Always
3D scanning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fresh CAD designs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Web catalog (Ponoko, Thingiverse, others)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Never	Rarely	Sometimes	Very often	Always
Others	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

What kind of things you 3Dprint ? *

	Always	Very frequently	Ocasionally	Rarely	Never
Prototypes	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Models	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Molds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Personal stuff	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Others	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

How often have you used these web companies within last 6 months? *

	Never	Rarely	Sometimes	Vary often	Always
Shapeways.com	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ponoko.com	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sculpteo.com	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thingiverse.com	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Never Rarely Sometimes Vary often Always

Redeyeondemand.com	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
--------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Do you share information and expertise in wikis, blogs and forums about 3D printing? *

- Often
- Sometimes
- Seldom
- Never

Your motivation to collaborate in web communities is: *

Strongly disagree Disagree Neither agree or disagree Agree Strongly agree

To learn new things	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

To document my projects	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

To make contacts	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

To help solve others problems	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

To receive feedback about my projects	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---------------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Do you own a 3D printer? *

- Yes
- No

What should be the starting cost of a personal 3D printer? *

- < \$500
- \$500 - \$1000
- \$1K - \$2K
- \$2K - \$5K
- \$5K - \$10K
- \$10K +

What should be the cost in consumables? *(Assume per pound)

- < \$30
- \$30 - \$99
- \$100 - \$249
- \$250 - \$499
- \$500 - \$999
- \$1000 +

Rank importance of next factors for 3Dprint home use scenario: *

	Unimportant	Of little importance	Moderately important	Important	Very important
Speed	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Accuracy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Unimportant	Of little importance	Moderately important	Important	Very important
Easy of use	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Variety of materials and colors	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Would you let your children use 3D printing technologies? *

- Definitely
- Very probably
- Probably
- Possibly
- Very probably not

Please rank your agreement with the next sentences: *

	Strongly disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly agree
I can use CAD software for visualize parts and basic edition	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
I can search, find and trade goods and services on virtual marketplaces	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
I have no problem following instructions for	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Strongly disagree Disagree Undecided Agree Strongly agree

building DIY products

I know how to update my PC drivers



Do you think 3D printing is mature enough to become standard technology for personal fabrication? *

- Strongly agree
- Agree
- Undecided
- Disagree
- Strongly disagree

Do you think that 3D Printing will eventually rise as a technology for personal fabrication within the next three years? *

- Strongly agree
- Agree
- Undecided
- Disagree
- Strongly disagree