

Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D

Carlo Fonda

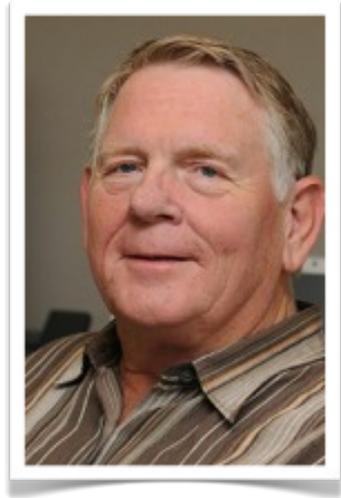
Science Dissemination Unit The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy

cfonda@ictp.it

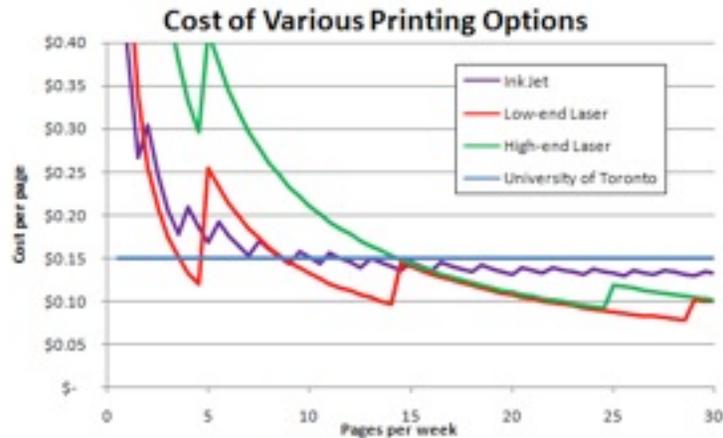
¿Qué es impresión 3D de bajo costo? Una breve historia: La impresora Láser

Esta historia no es sobre impresoras 3D, es sobre un dispositivo que puede imprimir textos e imágenes en una hoja de papel y que se ha transformado en un aparato para la casa o la oficina que la gente usa diariamente, muchas veces sin siquiera darse cuenta de lo importante que es: la impresora láser.

La impresora láser fue inventada¹ por Xerox en 1969 por el investigador Gary Starkweather (foto de la derecha) que tenía una impresora mejorada en 1971, a la que integró, un año después, en un sistema de impresión en red completamente funcional.



La primera impresora láser diseñada para uso de oficina salió en 1981 y fue la Xerox Star 8010. A pesar de ser muy innovadora la Star era un sistema caro (\$17.000) que sólo podía adquirir un pequeño número de empresas e instituciones.



Hoy en día, después de 30 años, el costo de imprimir se ha reducido en dos órdenes de magnitud: una impresora a color de inyección de tinta modelo SOHO (*small-office home-office*) cuesta menos de \$50, mientras que una impresora láser básica en blanco y negro cuesta \$100 o menos. Las impresoras láser (incluidas las de color) son por lo tanto bastante populares en las casas donde todos pueden beneficiarse de su excelente rendimiento, velocidad y calidad de impresión. Alguna gente piensa que las impresoras 3D están siguiendo este mismo camino pero a mayor velocidad.

Tecnologías 3D e impresoras 3D profesionales



La impresión 3D² (también llamada fabricación por adición) es el proceso de fabricar un objeto sólido tridimensional de casi cualquier forma a partir de un modelo digital computarizado. La

impresión 3D se logra usando un procedimiento de adición en el que capas sucesivas de un material se depositan en formas diferentes. Esto la hace diferente a otras técnicas de fabricación que normalmente proceden por remoción de materiales por recortado o perforado (procesos de sustracción).

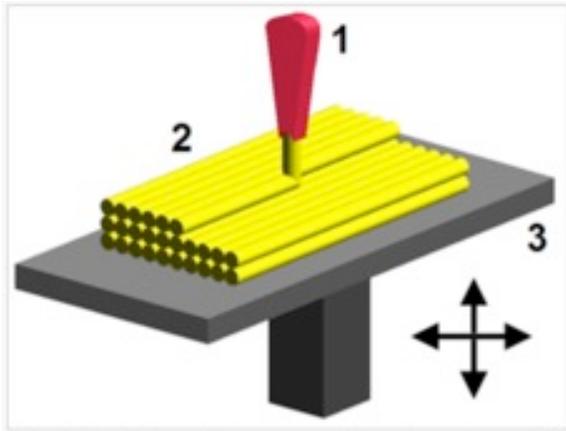
Los objetos que se fabrican por adición pueden utilizarse en cualquier etapa del ciclo vital del objeto, desde su preproducción (i.e., el prototipado rápido) hasta su producción a gran escala (i.e., fabricación rápida), además de las aplicaciones de herramientas y personalización post-producción. Hoy en día esta tecnología es ampliamente usada en joyería, zapatería, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, industria automotriz, aeroespacial, dental y médica, educación, sistemas de información geográfica y para otras muchas aplicaciones profesionales que se añaden a esta lista cada año.

Varios procesos de impresión 3D se inventaron desde finales de los años 70, pero las impresoras eran originalmente grandes, caras y muy limitadas en lo que podían producir. La tecnología de impresión 3D más común era la de Modelado por Deposición Fundida (*Fused Deposition Modeling*: FDM) que fue inventada y patentada en 1989 por S. Scott Crump (foto a la derecha) y comercializada por la compañía que cofundó, la **Stratasys**³ (<http://www.stratasys.com>). Esta se fundió con una empresa líder del mercado, la **Objet**, y se convirtieron en la más grande fábrica de impresoras 3D y de materiales para impresión 3D que existe hoy.



Modelado por Deposición Fundida

A pesar de que hay muchas tecnologías posibles para la impresión 3D, la más común, la de Modelado por Deposición Fundida⁴ (**FDM**) es la más sencilla: crea objetos complejos a partir de plástico fundido que se expelle o se extruye a través de



1: La boquilla expelle plástico fundido. 2: Material depositado (pieza modelada). 3: Mesa de movimiento controlado.

una boquilla. El filamento de plástico (o incluso de metal) está originalmente enrollado en una bobina que se desenrolla para entregar el material a la boquilla de extrusión al tiempo que la boquilla, o el objeto (o ambos) son movidos a lo largo de tres ejes gracias a un mecanismo controlado por computador y el material se endurece inmediatamente después de su extrusión. Los

motores de paso o servomotores se utilizan comúnmente para realizar estos movimientos, así como para empujar el filamento dentro de la extrusora.

Otro enfoque de la impresión 3D es el fundido selectivo de materiales en un lecho granular, conocido como Sinterización Selectiva por Láser⁵. Esta técnica funde partes de las capas y luego mueve el área de trabajo hacia delante para añadir otra capa de gránulos y repite este proceso hasta construir la pieza completa. Este proceso utiliza el material no fundido para sostener el material sobrante y las paredes finas de

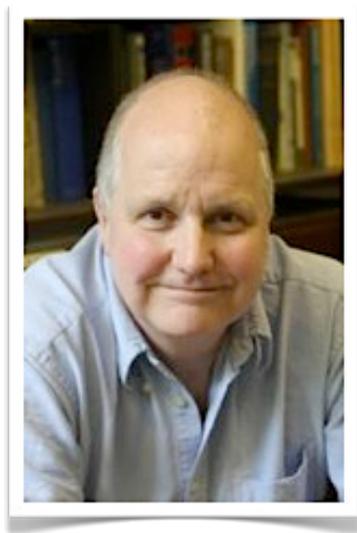
la pieza que se está creando, con lo que se reduce la necesidad de soportes auxiliares temporales para la pieza. Se suele usar un láser para fundir (sinterizar) el material y volverlo sólido.

Otro método es el de impresión 3-D tipo inyección de tinta⁶. La impresora crea el modelo una capa a la vez expandiendo una capa de polvo (yeso o resina) e imprimiendo un aglutinante en la sección transversal de la pieza con un procedimiento parecido al de inyección de tinta. Esto se repite hasta que se imprima la última capa. Esta tecnología permite la impresión de prototipos a todo color, salientes y piezas de elastómero. Fue desarrollado primero en el **MIT** y ahora es de licencia exclusiva de **Z Corporation**.

Algunas impresoras 3D profesionales pueden imprimir metal, cerámica y otra variedad de materiales y colores produciendo objetos bastante grandes (de dimensiones de varios metros) con una resolución increíblemente alta, más que todo para usos industriales y profesionales. Son, naturalmente, muy caras y fuera del alcance de la persona común.

Una revolución: la Impresora 3D Personal

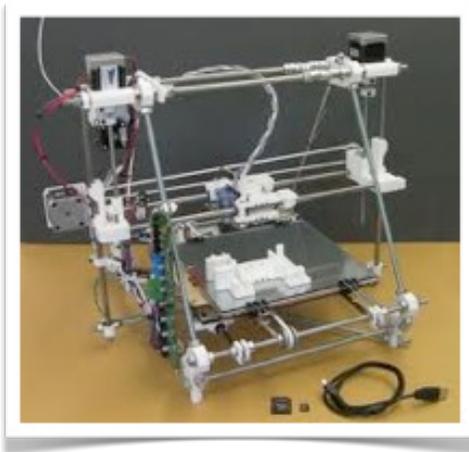
La idea de que fuera posible pasar de la impresora 3D profesional a algo nuevo, más pequeño y más asequible se expresó⁷ por primera vez en 2004 en un artículo de Adrian Bowyer⁸ (foto a la derecha), en ese momento un académico de la Universidad de Bath, en el Reino Unido. Allí, Bowyer imaginó el concepto de máquinas



autorreplicantes, capaz de imprimir (algunas de) sus propias piezas por sí mismas, de manera tan sencilla y fácil que cualquiera fuera capaz de construirlas. A partir de esta simple idea y con la ayuda de una gran comunidad virtual reunida en Internet, nació un movimiento de entusiastas "hacedores" o "**makers**": **el proyecto RepRap**⁹.

Estos primeros pasos hacia la creación práctica de una impresora 3D "personal" y barata fueron posibles dentro de la llamada **cultura maker culture**¹⁰, que es la encarnación moderna de esa comunidad de frikis que crearon las primeras computadoras personales en los garajes de sus padres. De hecho, esta cultura representa una extensión tecnológica del espíritu del "hágalo usted mismo" (DIY), con sus intereses típicos, como la electrónica, la robótica, la impresión 3D, y el uso de las herramientas del CNC, así como las actividades más tradicionales de metalurgia, carpintería y artesanías. Su filosofía promueve aplicaciones de las tecnologías nuevas y originales y fomenta la invención y creación de prototipos.

Impregnado de esta cultura, el proyecto RepRap se propuso producir **una impresora 3D de código libre y abierto**, cuyas especificaciones completas se harían públicas bajo una licencia abierta (optaron por la Licencia Pública General de GNU), y que tenía que ser capaz de replicarse a sí misma (al menos parcialmente) mediante la impresión de muchas de sus



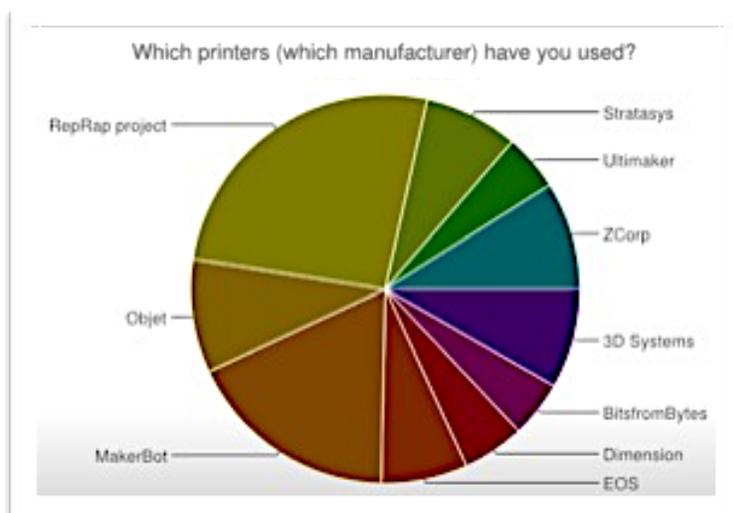
propias piezas de plástico para la creación de nuevas máquinas.

Debido al ideal de código abierto de RepRap, muchos proyectos relacionados han utilizado su diseño como inspiración con lo cual se ha

creado un ecosistema de parientes o derivados de las impresoras 3D, la mayoría de los cuales también son de código abierto.

La disponibilidad de estos diseños significa que las variantes de las impresoras 3D han sido y son fáciles de inventar. La calidad y la complejidad de los diseños de impresora, sin embargo, así como la calidad de kits o productos acabados varía en gran medida de proyecto en proyecto. Desde el 2008 se han creado varios proyectos y empresas que hacen esfuerzos para desarrollar impresoras 3D de escritorio asequibles para uso casero. Gran parte de este trabajo ha sido impulsado por y dirigidos a comunidades DIY / entusiastas / pioneros, con vínculos adicionales a la comunidad académica y de hackers.

Por tanto, el costo de las impresoras 3D se ha reducido considerablemente¹¹ entre el 2010 y el 2012, con muchas máquinas que ahora cuesta menos de \$1.000 (y algunas de ellas incluso menos de \$500).



Moilanen, J. & Vadén, T.: Manufactura en movimiento: primer sondeo sobre la comunidad de impresión 3D, Estudios estadísticos de Peer Production.
<http://surveys.peerproduction.net/2012/05/manufacturing-in-motion/>

Al mismo tiempo ha ocurrido un gran cambio en la percepción pública sobre la impresión 3D de bajo costo,



provocado principalmente por una gran cobertura de los medios: un buen ejemplo fue la portada de la edición de octubre de 2012 de la revista Wired Magazine¹², que se titulaba "Esta máquina va a cambiar la mundo ", con una foto de Bre Pettis, CEO y co-fundador de Makerbot, sosteniendo una *Replicator 2*.

En febrero de 2013, el presidente Obama citó esta tecnología durante su discurso del Estado de la Unión¹³, como si todo el mundo conociera esta tecnología. Expresó su esperanza en que era una manera de rejuvenecer la industria manufacturera estadounidense. "Un almacén una vez cerrado, ahora es un laboratorio de avanzada donde los nuevos trabajadores adquieren el dominio de la impresión 3D, que tiene el potencial de revolucionar la forma en que hacemos casi todo", dijo Obama. Debemos notar que él mencionó simplemente "la impresión 3D", sin especificar su bajo costo de implementación.

Profesional versus Personal

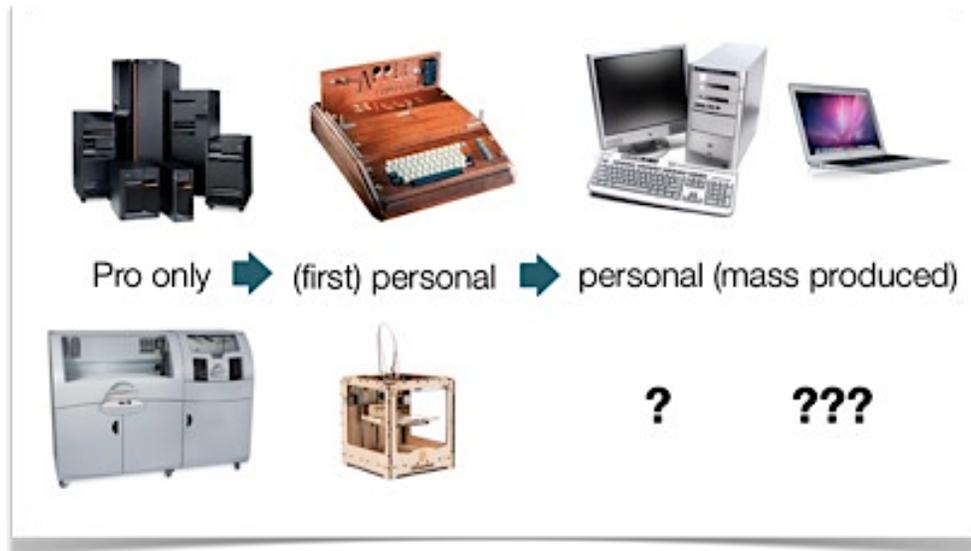
En este punto deberíamos analizar algunas diferencias prácticas entre una impresora 3D profesional y una de sus parientes de bajo costo:

- mientras que la primera puede ser alimentada sólo con uno (o más) de los polvos plásticos especiales (y caros) autorizados por el fabricante, las últimas pueden utilizar filamento plástico barato (ABS, PLA, etc.) de cualquier proveedor (con un diámetro de 1,75 mm o 3 mm, en función del tipo de cabezal de impresión);
- un equipo profesional tiene una carcasa sólida generalmente metálica (o a veces plástica), mientras que el marco de una impresora 3D de bajo costo es a menudo de contrachapado cortado con láser, o piezas impresas de plástico, más raramente de aluminio o de acero;
- el software necesario para operar una unidad profesional es propietario (de código cerrado) y los fabricantes pueden organizar cursos de formación especializada para los operadores, mientras que el software utilizado para hacer funcionar las impresoras 3D de bajo costo es en su mayoría libre y de código abierto (no siempre rico en prestaciones, pero a menudo muy personalizable y sujeto a una rápida evolución);
- las máquinas profesionales son controlados por computadoras patentadas de tipo industrial y sistemas operativos patentados; sus contrapartes de bajo costo hacen un amplio uso de hardware abierto como Arduino, Pololu , Sanguinololu , etc., es decir, paneles de control pequeños y muy baratos, que son alimentados por OS de código abierto. Hay más diferencias que se pueden agregar a esta lista, todo lo

cual apunta a la misma dirección: las impresoras 3D profesionales siempre garantizan un mejor rendimiento y más características a costa de mucho menos libertad para jugar con el hardware y el software y realizar experimentos, y por supuesto, a un precio mucho más alto. Las impresoras 3D de bajo costo, por el contrario, rara vez son adecuadas para uso profesional, pero pueden convertirse en una herramienta personal valiosa y poderosa. Tal vez, al igual que el computador personal, podemos empezar a llamar a estas nuevas impresoras 3D personales simplemente P3DP o P3P. Y ya que estamos hablando de la computadora personal, considerada por muchos como la mayor revolución del siglo 20, podría ser interesante revisar cómo empezó todo ...

La historia de la Computadora Personal (¿vuelve a repetirse?)

La historia de la impresora 3D personal parece muy similar a la vieja historia de la computadora personal (PC). Al principio, ambas eran objetos muy costosos, "solo para profesionales" y con modelos difíciles de utilizar (a menudo se necesitaba técnicos especializados para operarlas); y ambas llegaron a ser asequibles y fáciles de usar sólo después de algunas décadas de tiempo. Cuando el PC se convirtió en realidad "personal" y omnipresente (porque eran producidos en masa y cada vez a más bajo costo), tuvimos computadoras de escritorio baratas para todos, y después de algunos años, la industria creó portátiles muy delgados y poderosos, y luego, hace poco, llegamos a los *smartphones* (computadoras de bolsillo) y a las tabletas "mágicas". Este emocionante crecimiento sólo fue posible gracias a la revolución de la PC, y las muchas invenciones pequeñas y grandes que invaden y le dan forma al mundo en que vivimos son sus hijas.



Sólo profesionales > Primera computadora personal > Personal producida en masa

Ya no podemos imaginar la vida sin la información moderna ni las Tecnologías de la Información a las que estamos acostumbrados, y la mayoría, tal vez, todas se hicieron posible gracias al computador personal (es decir, de bajo costo).

¿Seguirán las impresoras 3D el mismo camino y llegarán a ser pronto un electrodoméstico común que se encuentra en todas las casas y oficinas al lado de nuestras computadoras personales?

¿La industria de la impresión 3D de bajo costo, todavía en la cuna, va a abrir el camino a una nueva revolución, y a hacer posible muchos inventos nuevos e inimaginables que cambiarán nuestras vidas de nuevo?

Tal vez estamos en presencia de tiempos muy emocionantes y todavía tenemos que entenderlos mejor y estar preparados. Así que comencemos a aprender los rudimentos de la impresión 3D de bajo costo.

La impresión 3D paso a paso

El proceso que va desde la idea hasta un objeto de plástico de colores que sale de nuestra impresora 3D es bastante largo y complejo en el que participan muchas partes diferentes que deben interactuar y trabajar juntas fluidamente:

- El primer paso es crear un modelo 3D de la idea que tenemos en mente, un alter ego digital del objeto que queremos hacer (**modelación digital**).
- El segundo paso es generar un archivo en el formato correcto (por lo general " STL ") que contenga toda la información geométrica necesaria para representar nuestro modelo digital (**exportación**).
- Si somos perezosos, hay un acceso directo para los dos pasos anteriores: simplemente descargar un modelo digital de Internet (es decir, desde *Thingiverse*).
- Si nuestro modelo no ha sido diseñado cuidadosamente, puede salir con algunos defectos: debemos tratar de corregirlos con software (**corrección de malla**).
- El tercer paso consiste en convertir el modelo digital (técnicamente una representación tridimensional de una superficie hermética, subdividida en una malla triangular) en una lista de comandos que nuestra impresora 3D pueda entender y ejecutar, generalmente llamados *código g / g-code* (**rebanado**).
- El cuarto paso consiste en dar esa lista de instrucciones a la impresora, ya sea a través de una conexión USB a un PC o

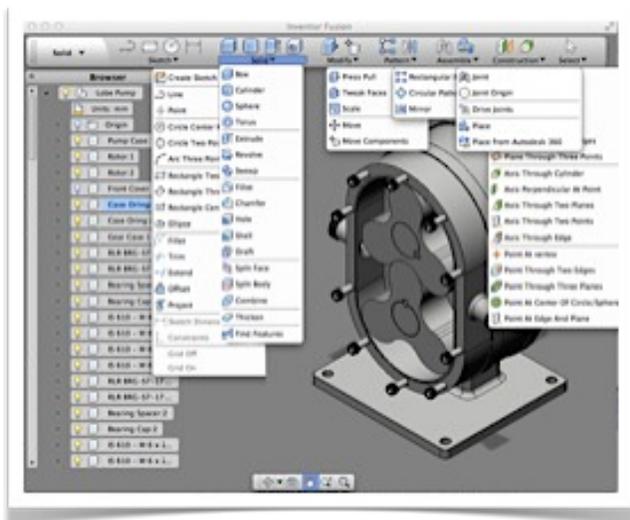
copiando el archivo en una tarjeta de memoria que puede ser leído directamente por la propia impresora (**conexión**).

- El quinto paso es preparar la impresora 3D y comenzar la impresión, y esperar el resultado (**impresión**).
- El sexto paso es quitar de la plataforma de impresión (“cama”) el objeto recién creado y eliminar las partes adicionales (por ejemplo el apoyo y/o balsa) si están presentes para limpiar su superficie (**acabado**).

Hay algunos puntos más que deben también considerarse, con el fin de obtener resultados exitosos: la **elección de la impresora 3D**, su **calibración adecuada y configuración**, el tipo y la calidad del **filamento plástico**, el tipo de superficie que cubre la **plataforma de impresión**. Analizaremos todos estos aspectos y los anteriormente mencionados con algunos detalles y consideraciones prácticas en las siguientes páginas.

Modelado en 3D

El primer paso para la impresión de un objeto real es hacer un modelo 3D virtual digital del mismo mediante un software, a menudo llamado CAD (Diseño Asistido por Ordenador). Hay muchos de estos programas para las plataformas más comunes (Windows, Mac OS X, Linux); algunos son incluso gratuitos o de código abierto. Empezar a utilizar un Programa de CAD no es fácil; es posible que se necesiten semanas o meses de tiempo (y mucha paciencia y



práctica) para aprender el significado de sus numerosos menús e iconos, e incluso puede ser a veces difícil simplemente entender cómo un movimiento 2D del ratón se traduce en el entorno 3D del software, haciendo por lo tanto difícil de manipular el modelo o cambiar el punto de vista, sin hablar de maniobras complejas como la rotación de objetos, intersecciones, etc.

Ejemplos de software libre para el modelado técnico en 3D:

- *SketchUp*¹⁴: es fácil de usar, con una comunidad mundial de usuarios y tutoriales en vídeo , pero de alguna manera limitado; está optimizado para la creación de modelos arquitectónicos simples).
- *FreeCAD*¹⁵: para Win/Mac/Linux, de código abierto en 2D y modelador paramétrico en 3D con una curva de aprendizaje muy pronunciada, una buena documentación y una comunidad de usuarios que ayudan.
- *Blender*¹⁶: potente software para Win/Mac/Linux de código abierto, optimizado para las animaciones complejas y representaciones de objetos en 3D y figuras; poco intuitivo y difícil de dominar.
- ~~*AutodeskTM Inventor Fusion*~~¹⁷: es la aplicación profesional de CAD para Win/Mac, pero gratuita para uso no comercial; fue desechada y reemplazada por una versión basada en la nube más reciente: Fusion 360.
- *OpenSCAD*¹⁸: no es una aplicación sino un lenguaje de programación para la generación algorítmica de modelos 3D, muy potente y versátil, muy difícil, pero vale la pena probarlo)

Ejemplos de software libre para el modelado 3D artístico:

- *Sculptris*¹⁹: para Win, Mac; es una aplicación para escultura virtual, reproduce el modelado en plastilina).
- *Autodesk 123D Design*²⁰: webapp para Mac, Win, iPad, tiene una interfaz cómoda con muchas características).

A veces, para crear un simple modelo 3D es más fácil y rápido utilizar uno de los muchos sitios web especializados que proporcionan herramientas visuales para una creación fácil e inmediata y/o modificación de nuestro diseño (estas herramientas se llaman webapps).

Ejemplos de aplicaciones web para el modelado 3D:

- *TinkerCAD*²¹ (ahora cerrado)
- *3Dtin*²²
- *ShapeSmith*²³
- *Cubify*²⁴
- *Autodesk 123D Design*²⁰

Como última nota sobre esta rápida visión general de software de modelado 3D vale la pena mencionar la reciente llegada de aplicaciones similares para las tabletas táctiles como el iPad de Apple, por ejemplo:

- *Netfabb*, *3Dskope*, *KiwiViewer*, *vueCAD* y *MeshLab* (visores para archivos STL, no permiten crear o modificar modelos, todos son gratis).
- Aplicaciones de Autodesk de la familia *123D*: *123D Sculpt* (para los modelos orgánicos "redondeados", es gratuito). *123D*

Design (para los modelos geométricos "cuadrados", gratuito) y *123D Creature* (para la creación de personajes, no es gratis pero tiene un precio mínimo).

- *Autodesk 123D Catch* (escaneo 3D con cámara iPad/iPhone, gratuito, se requiere una cuenta).

Modelos 3D en la web

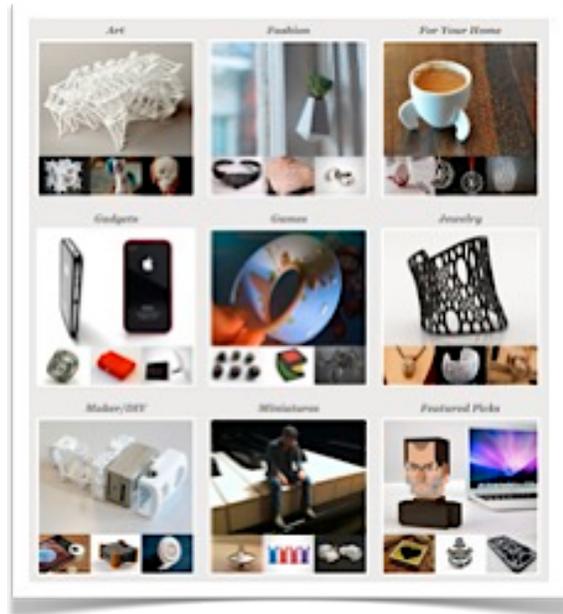
Antes de empezar a crear nuestros propios modelos 3D dando nuestros primeros pasos con una herramienta de software más o menos difícil, puede ser una buena idea echar un vistazo a los miles de modelos de otros fabricantes generosamente compartidos de forma gratuita en la web. Así que vamos a hacer un breve recorrido por los repositorios web más útiles de modelos 3D disponibles:

- *Thingiverse*²⁵: el repositorio utilizado por la mayoría de los entusiastas de la impresión 3D de bajo costo para obtener y compartir sus creaciones. Cuenta con más de 50.000 modelos 3D generados por los usuarios en su mayoría diseñados para la impresión en 3D, pero a veces también para el corte con láser u otras técnicas de artesanía más tradicional. Todo el contenido es gratis para descargar y la mayor parte se puede imprimir con facilidad, pero es mejor comprobar si ya ha sido hecho por otros usuarios y con qué resultados (ver la sección "quién lo ha hecho" en la descripción del modelo respectivo).
- *Autodesk 123D*²⁶: una página web con una gran cantidad de objetos con archivos que se pueden bajar gratis después de registrarse; ya están en formato STL.

- 3D CAD browser²⁷: el recurso de intercambio de modelos 3D en línea para diseñadores gráficos CGI e ingenieros de CAD/CAM/CAE. Tiene muchos coches, animales, arquitectura y mucho más. Como siempre, de descarga gratuita en muchos formatos diferentes después de registrarse. No todos los modelos son adecuados para la impresión en 3D de bajo costo.
- GrabCAD²⁸: no hay necesidad de registrarse en este enorme repositorio web para descargar los archivos; hay muchos objetos digitales 3D: desde pequeños tornillos y tuercas hasta coches de carrera completos con miles de piezas mecánicas perfectamente diseñados; pero sólo una pequeña fracción de los modelos serían en realidad imprimibles en 3D, mientras que la mayoría de los otros son maravillosos ejercicios complejos de representación foto-realista en 3D.
- Shapeways²⁹: sitio web que ofrece numerosos y fantásticos diseños subidos por los usuarios, pero casi nada es gratuito. Se puede pagar para descargar algunos de los modelos o simplemente pedirle a Shapeways que los imprima en plástico o metal (aluminio, latón, acero y también bañados en oro o plata), quienes luego te los envían a un precio razonable, con la garantía de un resultado perfecto.
- 3D warehouse³⁰: el repositorio de SketchUp, con cientos de modelos de todo tipo de objetos, pero se debe buscar con cuidado para encontrar los imprimibles.
- 3D via³¹: un pequeño repositorio de modelos 3D que se puede descargar de forma gratuita después de inscribirse.

En la mayoría de estos sitios web hay múltiples formatos de archivos que se pueden descargar, lo que permite una fácil modificación y personalización de los modelos; son también

una gran fuente de ejercicios para aprender a dominar las capacidades del software de modelado 3D moderno. Incluso en los lugares donde sólo los archivos STL están disponibles, todavía es posible –de forma nativa o mediante *plugins*– importarlos en un programa de diseño 3D después de la descarga, ganando así la posibilidad de modificarlos antes de imprimir.



Los modelos de los más famosos diseñadores "amateur" (gente como *Dizingof* y *Emmett* en Thingiverse, por ejemplo) son descargados e impresos por mucha gente e incluso se usan diariamente como base e inspiración para la creación de nuevos y mejores modelos con mejor impresión (derivados), sin romper ninguna barrera moral o de derechos de autor (copyright), o de licenciamiento, lo que es una situación bastante común desde hace tiempo para el código de fuente (que es el fundamento de la filosofía del código abierto), pero que no tiene precedentes en el mundo artístico o técnico, normalmente más preocupados por los derechos que tienen los creadores de bloquear sus obras por medios legales o técnicos en un intento (de todas maneras infructuoso) de impedir que otros las copien o modifiquen.

Incluso si no somos (todavía) capaces de modificar los modelos creados por otros, la posibilidad de que esta gran comunidad de *makers* creativos tenga la capacidad de hacerlo, y la disponibilidad de tal vez más de cientos de miles de modelos 3D que se pueden descargar gratuitamente, nos

brindan a la vez el estímulo y el desafío para mejorar nuestras capacidades de crear modelos para no quedarnos atrás en lo que podría ser *la próxima brecha digital*: las personas capaces de crear todos los objetos 3D que necesiten o gusten y las que no. Pero incluso si somos los afortunados, los diseñadores del lado "creativo" de la brecha, hay otro pequeño paso que tenemos que dar antes de convertirnos en *makers* reales: tenemos que elegir nuestra impresora 3D (para comprarla o construirla, o más a menudo para comprarla y construirla); la máquina que va a transformar nuestros hermosos diseños virtuales en objetos 3D reales.

Hardware para impresión 3D

Probablemente podríamos emplear centenares de páginas enumerando las características y funciones de las numerosas impresoras 3D de bajo costo disponibles para la compra (ya sea pre-ensambladas o como kits *do-it-yourself*); o las muchas otras que han sido desarrolladas por los entusiastas del hardware abierto, movimiento cuyos esquemas e instrucciones de construcción están disponibles para su descarga gratuita en Internet. De hecho, este es probablemente el peor (pero al mismo tiempo el mejor) tiempo para comprar una impresora 3D: demasiadas para elegir, un mercado que está cambiando día a día con nuevos modelos que vienen y viejos que desaparecen, y demasiadas y



rápidas mejoras en la tecnología que nos presenta cada mes características novedosas, nuevos materiales de impresión, impresoras más veloces, más confiables, resultados más precisos, menores costos, y así sucesivamente ... Es bastante difícil seguir todos estos desarrollos, adivinar qué sucederá después, y aún así ser capaz de decidir cuál impresora comprar hoy.

En este punto es claro que cualquier consejo o información que encontremos o creamos hoy e día estará obsoleta –o simplemente equivocada– en poco tiempo, y no debemos caer en la tentación de salir a buscar nuestra primera impresora 3D pensando que va a ser el mejor modelo para siempre. Es muy probable que no podamos definir cuál sea el mejor modelo, ya que la elección dependerá de nuestras necesidades, intereses y capacidades. A lo mejor en 10 años las cosas van a ser más sencillas y habrá un modelo ganador en esta tecnología, o tal vez no, pero al presente, la única opción que tenemos es seguir este rápido desarrollo sin necesariamente cambiar de modelo cada año, pero sí examinando los nuevos modelos y manteniéndonos al día sobre los cambios y –lo más importante– experimentando en la medida en que nuestros recursos lo permitan (entre los cuales, el tiempo es más importante que el dinero, especialmente cuando escasea).



La elección ideal, al comprar una impresora 3D, es un modelo que pueda ser actualizado y mejorado fácilmente, con

un gran número de usuarios que haya experimentado con ella, desarrollada por gente inteligente que esté tratando de mejorarla siempre, resolviendo los problemas y explorando nuevas direcciones. Si preguntas cuál es esa impresora, vas a obtener diferentes respuestas de gente diferente, simplemente porque no hay una respuesta única; pero afortunadamente hay muy buenas impresoras en el mercado, modelos interesantes, productos excelentes para escoger, y son diferentes porque las personas somos diferentes. Examinemos algunos de los modelos de impresoras 3D de bajo costo más comunes que podemos considerar hoy en día. Las vamos a clasificar de acuerdo con la filosofía que hay detrás de su diseño, especificando que no hay fronteras precisas entre las tres grandes categorías y que las impresoras las vamos a distribuir en un espectro continuo que va desde el extremo de “totalmente abierto, control total para el usuario, su uso requiere bastante experiencia” hasta el extremo opuesto de “totalmente cerrado, mínimo control para el usuario, bienvenidos los novatos”, entre los cuales habrá todos los grados intermedios posibles.

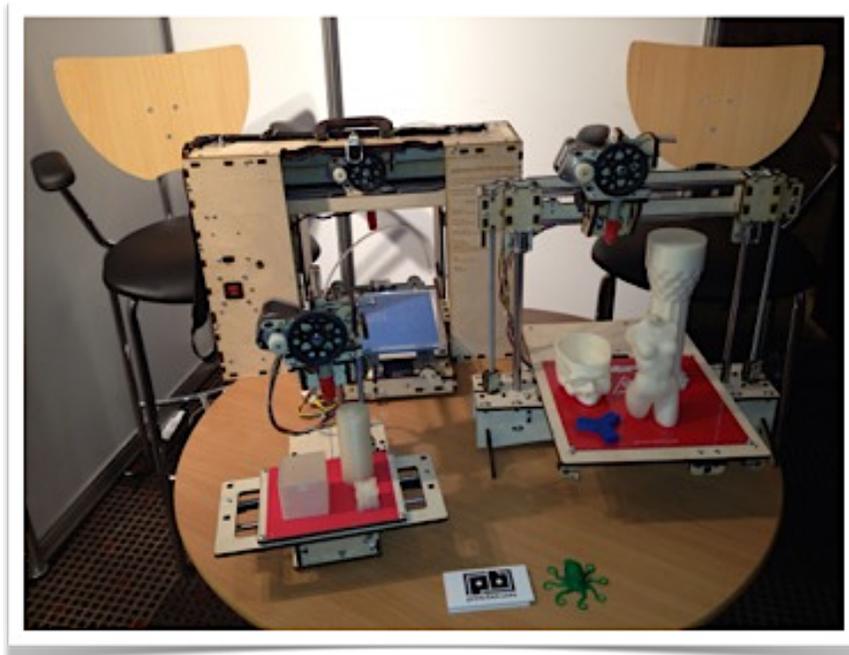
La lista del autor de los *mejores ejemplos de estudio* (¡no son necesariamente las mejores impresoras!) se da a continuación sólo en calidad de sugerencia, de punto de inicio, y no es para nada una lista exhaustiva.

1. Impresoras 3D de estilo Hacker: do-it-yourself, hardware abierto, totalmente personalizable.

- RepRap³²: una gran familia, ¡casi un *árbol de la evolución* de las impresoras 3D! Muchos vendedores las comercializan con diferentes nombres y marcas, pero todas en su mayoría son

variantes de uno de los principales diseños de RepRap, que son las siguientes:

- Darwin: el modelo original, ahora reemplazado por el resto de los diseños;
- Mendel / Prusa Mendel / MendelMax: con el característico marco triangular;
- Wallace y Huxley: dos modelos con un tamaño de impresión más pequeño y una construcción más simple;
- Rostock: *impresora-delta* con diseño no cartesiano³³: el cabezal de impresión es compatible y controlado por tres brazos dispuestos en una configuración piramidal y atados a las columnas verticales, la cama es fija); es un modelo "único" e interesante.
- Ultimaker³⁴: una impresora muy precisa, de los Países Bajos.
- Printrbot³⁵: un conjunto de impresoras de bajo costo, que incluye algunos modelos portátiles; de los EE.UU.



2. **Impresoras 3D sin complicaciones:** un buen compromiso: completamente pre-ensambladas y a la vez parcialmente personalizables -impresoras con menos "apertura ", pero más facilidad de uso y previsibilidad.

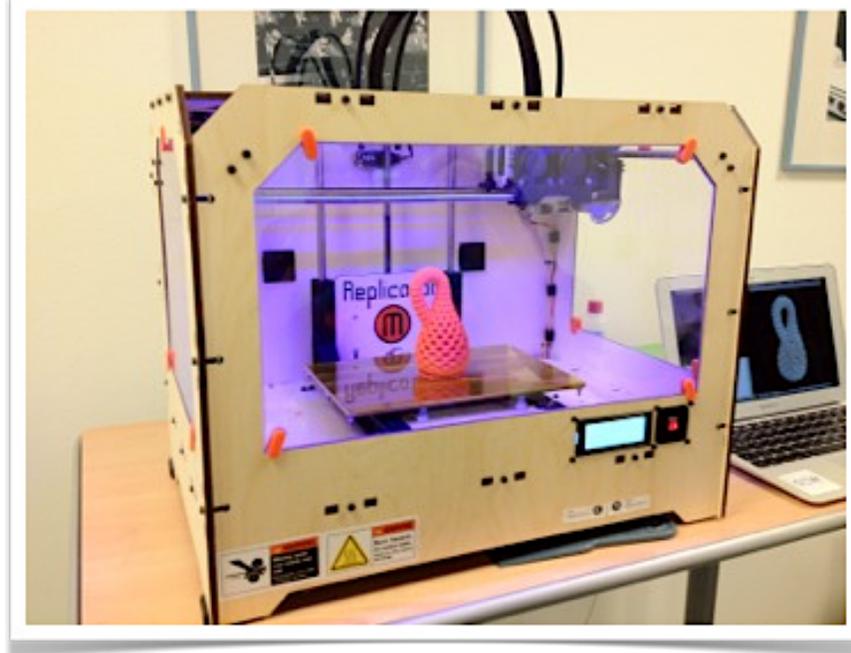
- Makerbot³⁶ es una compañía de fama mundial que ha popularizado las impresoras 3D de bajo costo. Los dos modelos disponibles en la actualidad son una evolución de impresoras populares anteriores que probablemente fueron las primeras en ser comercializados para un gran número de *makers*:

- Replicator: tiene una opción de *doble cabezal* que puede imprimir en dos colores, o con dos tipos de plástico al mismo tiempo, con marco de madera contrachapada y software dedicado de código abierto;

- Replicator 2: un modelo más reciente con un marco de metal resistente, menos abierta –por ejemplo, sus dibujos no están disponibles en línea como con la Replicator– pero es más confiable y fácil de usar. Además, el software fue actualizado (no es más de código abierto). También hay una versión 2X con doble extrusora y cama caliente.

- Solidoodle³⁷, con tres generaciones de impresoras 3D asequibles que ofrecen tamaño de impresión diferentes y opciones interesantes como una carcasa de aluminio resistente y una cama caliente.

- Afinia Up!³⁸ sus versiones "Plus" y "mini" son impresoras versátiles "para el resto de nosotros " que sin ser frikis informáticos duros, aún queremos un poco de libertad para experimentar.



3. **Impresoras 3D *plug'n'play***: "cajas negras" cerradas, muy fáciles de usar, pero se permiten sólo unos pocos ajustes para obtener el resultado deseado, de manera similar a las modernas impresoras láser (2D) o de inyección de tinta.

- Cube³⁹, la primera y más conocida impresora de bajo costo 3D totalmente *plug'n'play*, con algunos compromisos en materia de control y versatilidad, pero su uso no tiene complicaciones; está diseñada y anunciada para ser utilizada por los no expertos en tecnología e incluso por niños, con su software propio (sólo para Windows), cartuchos patentados de filamento plástico y características como conectividad wiFi e impresión directa desde la unidad USB.

Un buen análisis comparativo sobre un grupo de impresoras de diferentes categorías fue publicado en un número especial de la revista "Make" del invierno de 2013 dedicado a la impresión 3D⁴⁰. Es una lectura interesante (cuesta \$ 6,99 para descargarlo como ebook o PDF y \$9,99 para la impresión en papel) también por sus instrucciones detalladas

sobre impresión 3D para principiantes, software de modelado, etc.

Otra lista bastante completa de impresoras 3D ordenada por precios (que van desde \$ 400 hasta casi ¡25.000!) la elaboró **3ders.org** – una buena fuente de noticias del mundo de las tecnologías de la impresión 3D– que se encuentra gratuitamente en la dirección:

<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>

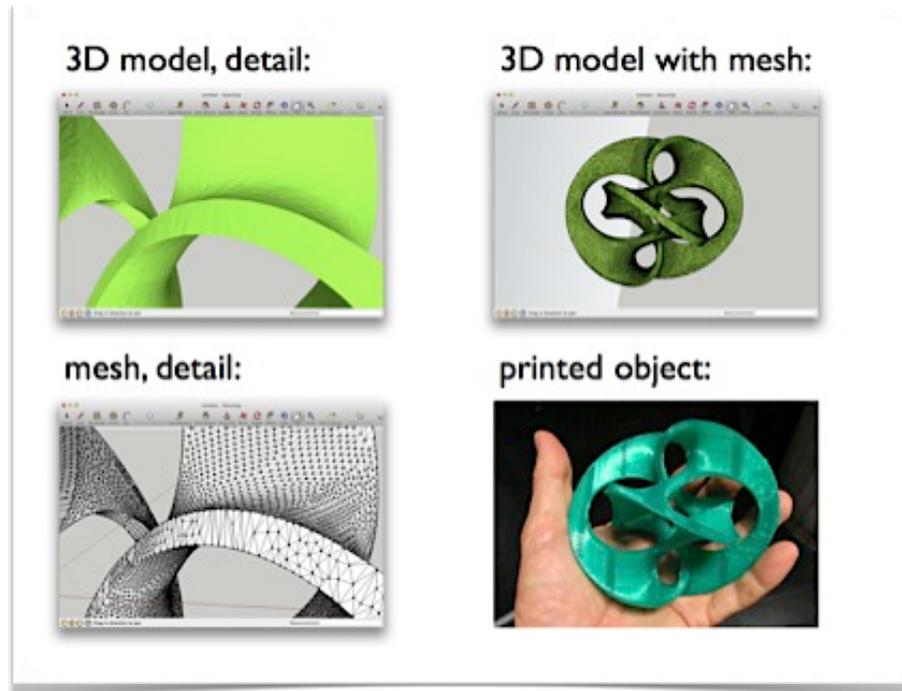
Se estima que en este momento hay más de 100 modelos disponibles de impresoras 3D de bajo costo disposición, bien sea como productos comerciales (que podemos comprar en el mercado local o internacional), o como diseños gratuitos disponibles en Internet bajo una licencia de hardware abierta (que podemos construir por nuestra cuenta).



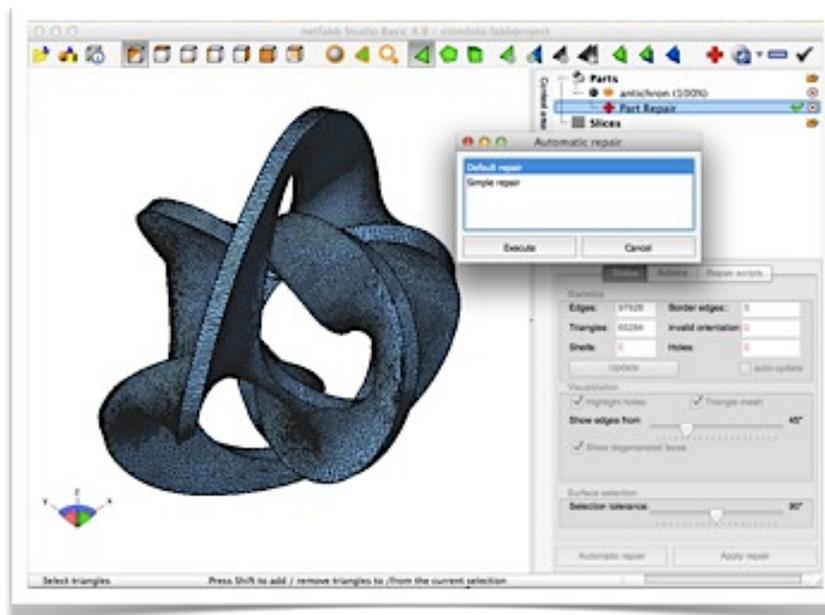
Reparar la malla para evitar el desastre

El archivo STL que hemos creado (o que otros han creado) utilizando algún software de modelado podría no estar listo para su impresión, independientemente de cuanto cuidado se haya puesto en el proceso de su creación. Ni siquiera el mejor de los software libres en manos de un diseñador amateur puede evitar que algunos errores aparezcan “misteriosamente” en la superficie de los objetos; defectos como huecos, o caras al revés. Estos son problemas típicos que son casi inevitables cuando creamos modelos complejos que incluyen cavidades, intersecciones, o caras, o simplemente superficies curvas.

Idealmente, un modelo 3D imprimible debería ser estanco (es decir, un *manifold* o variedad) y sólido, no hueco. Podemos, por supuesto, diseñar objetos como vasos, o cuerpos “vacíos” en general, pero, de hecho, estos siempre tienen una parte interna que está llena y es sólida (incluso si es una pared delgada). La calidad de ser estanco del cuerpo del objeto es la única propiedad que le permite a nuestro software de rebanado (lo discutiremos en las páginas siguientes) distinguir con precisión la parte interna y la externa del objeto para poder decidir dónde y cuándo extruir el plástico. Porque si hubiera aunque fuera un hueco microscópico en la aproximación poligonal de su superficie (llamada *malla*), ya no se podría garantizar la integridad de la superficie externa del objeto, ni tampoco resultados correctos en el rebanado, y la impresión podría terminar como un amasijo de plástico.



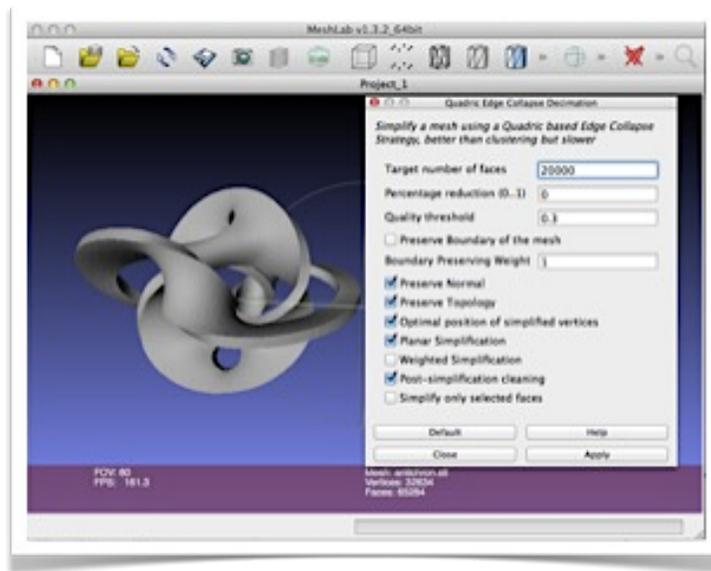
Por esta razón, es siempre una buena práctica chequear estos problemas antes del rebanado, lo que puede hacerse con el software gratuito **netfabb Studio Basic**⁴¹, disponible para Windows, Mac y Linux.



Si encontramos problemas, se pueden reparar regresando al software de modelado o a través del mismo netfabb, bien sea con un procedimiento automático⁴² o manual⁴³.

Otro software muy útil es **MeshLab**⁴⁴, que puede usarse para el análisis y manipulación de la malla del objeto (es decir, para reducir su complejidad y el número de elementos⁴⁵, y también para hacer conversiones entre los archivos de formato STL y muchos otros formatos.

Fue desarrollado por el instituto italiano de investigación ISTI-CNR, junto con estudiantes de la universidad de Pisa, Italia. Está disponible como código abierto para Windows, Mac y Linux.

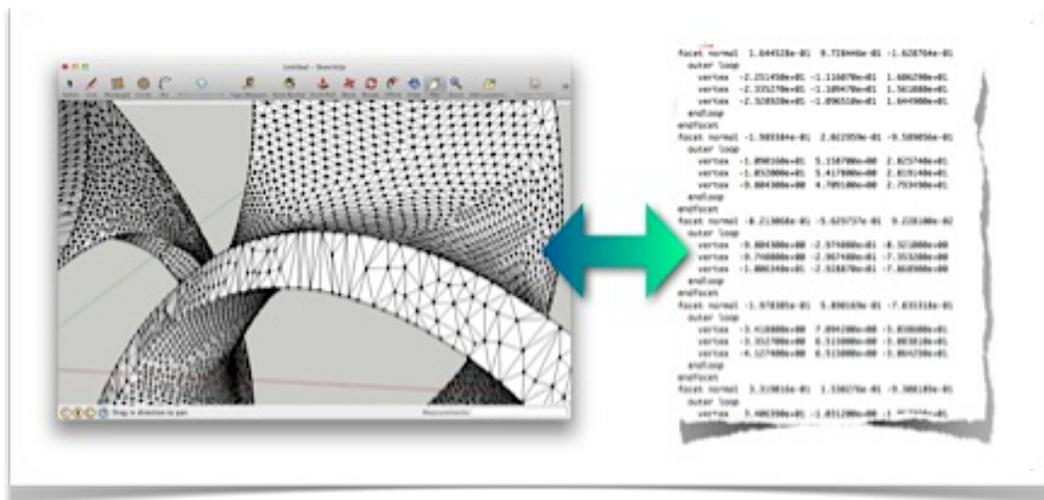


Software de rebanado

Este paso es tal vez el más interesante del largo proceso que va desde la idea al objeto real tridimensional, porque expone claramente los detalles sutiles e íntimos de cómo trabaja una impresora 3D para convertir un filamento plástico en bruto en nuestras hermosas creaciones. Preparar un modelo 3D para imprimir es una combinación delicada de conocimiento técnico, ciencia y arte, y se necesita bastante tiempo para dominar este procedimiento.

Antes de imprimirlo, nuestro modelo (grabado o exportado como archivo STL) debe primero convertirse en un conjunto de instrucciones para la impresora (un formato común es el g-code). Esta conversión se llama **rebanado** (*slicing*) porque el modelo es “rebanado” en muchas capas delgadas horizontales que se imprimirán en secuencia, y se lleva a cabo a través de programas computacionales complejos llamados *rebanadores* (*slicers*).

De hecho, la información contenida en el archivo STL es de poca o ninguna utilidad para la impresora ya que consiste en sólo una larga lista de coordenadas $\langle X, Y, Z \rangle$ que identifican los vértices que componen las múltiples caras poligonales de la malla del objeto.



La impresora necesita una información muy diferente: los movimientos del cabezal y/o de la plataforma en las diferentes direcciones X, Y y Z, la cantidad de plástico que debe extruir, y el tiempo exacto en el que debe comenzar y parar de extruir, la temperatura de la boquilla y de la plataforma de impresión, etc.

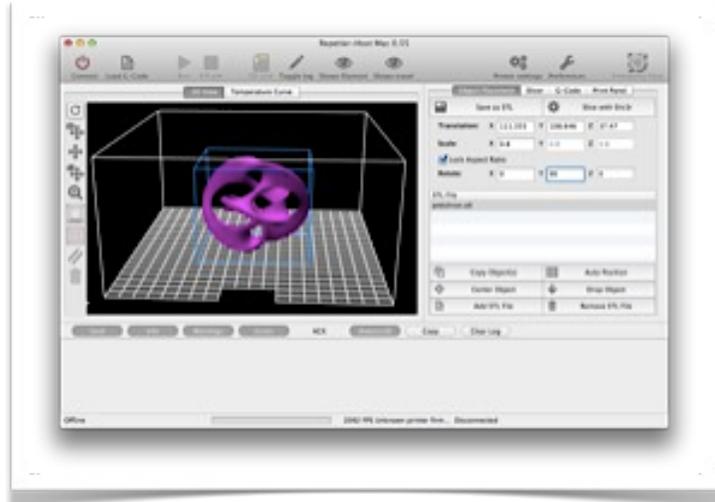
Esta “conversión” entre las coordenadas de los vértices y los comandos de impresión es una tarea pesada –hablando en términos de computación– y no puede manejarse en tiempo

real debido a limitaciones de la CPU de la impresora mientras imprime; así que esto tiene que hacerse previamente en un computador externo. Otra razón para hacerlo de esta manera es que el proceso de rebanado necesita de parámetros adicionales que el usuario debería proporcionar, por ejemplo, la altura de las capas, sólo por mencionar el más obvio, pero hay muchos más. La interfaz gráfica de un computador real hace que esta tarea sea más fácil que cualquiera de las pantallas alfanuméricas con algunos botones que es lo que comúnmente (a veces) tienen las impresoras 3D. Muchas impresoras no tienen interfaz con el usuario, excepto por la conexión USB a un computador anfitrión y tal vez un interruptor para encenderla.

El procedimiento estándar de rebanado se parece, entonces, a lo que se describe a continuación:

1. arrancar el programa de rebanado en un computador anfitrión;
2. cargar el archivo STL del modelo;
3. traducir/escalar/rotar el modelo hasta que esté adecuadamente posicionado en la plataforma de impresión;
4. ingresar todos los parámetros que se necesitan para la correcta impresión;
5. comenzar el proceso de rebanado y esperar hasta que se haya creado el g-code;
6. enviar el g-code a la impresora usando una conexión USB o copiarlo en una tarjeta de memoria (normalmente *SD* o *microSD*) para que sea cargado en la impresora.

Los dos primeros pasos son bastante obvios, pero el tercero puede necesitar información adicional. El software de rebanado está configurado con todas las características de la impresora 3D que se va a usar, así que ya conoce las dimensiones de la plataforma de impresión y puede mostrar la posición del modelo con respecto a dicha plataforma. El usuario puede reposicionar el modelo en los tres ejes hasta que quede centrado y repose

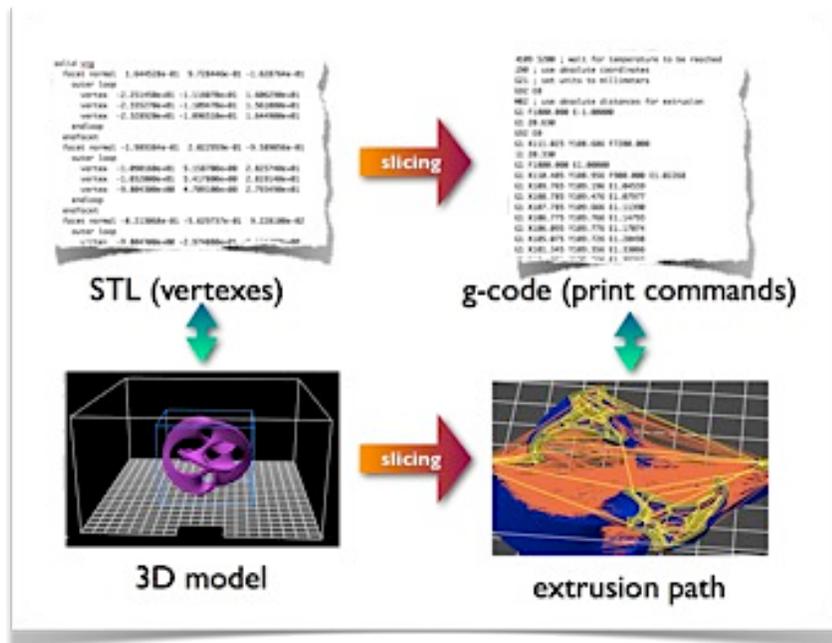


exactamente en la superficie de la cama (no debe quedar “flotando en el aire”), y debe poderse rotar si fuera necesario. La posibilidad de escalar las dimensiones del modelo es también muy útil porque en un archivo STL la unidad de longitud no se especifica, así que puede suceder que el software de modelado use centímetros, mientras que el de rebanado espere milímetros, con el resultado de que el modelo va a ser 10 veces más pequeño, por lo que hay que re-escalar calculando ese factor. Otra buena razón para recalcular por encima el modelo (unos 0.5% para ABS y un poco menos para PLA) es para compensar el encogimiento del plástico cuando se enfríe hasta alcanzar la temperatura ambiente: el coeficiente térmico de expansión del ABS⁴⁶ suele ser $(46) 75 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$, suponiendo que se solidifica a 100°C y luego se enfría a 25°C lo que daría un factor de contracción de ~0.5%.

Durante el quinto paso, nuestro modelo 3D va a ser “cortado” en muchas capas horizontales –se transforma en un

montón de rebanadas– y cada una de ellas va a ser procesada por separado para calcular la mejor trayectoria para que la boquilla deposite el plástico fundido en los sitios adecuados, lo que refleja la forma en que el cabezal de impresión hace realmente su trabajo, es decir, capa por capa.

Esta es la parte más crítica del proceso de impresión porque la calidad final del objeto impreso va a estar determinada casi completamente por la adecuada selección de los valores que se asignen a los diferentes parámetros de rebanado. Por esta razón, el cuarto paso es muy importante y deberíamos aprender el significado de al menos los parámetros de rebanado más importantes.



Desafortunadamente, estos reciben diferentes nombres y definiciones en los pocos programas de rebanado que existen, de los cuales discutiremos los cinco más usados (gratuitos): *Skeinforge*, *Slic3r*, *KISSlicer*, *Cura* y *MakerWare*; todos ellos están disponibles para Windows, Mac y Linux.



La mejor manera de experimentar con los parámetros de rebanado es seguir un orden lógico, y probablemente el mejor es el utilizado por **Slic3r**: hay parámetros relacionados con el modelo de impresora (que se cambian solo si cambias la impresora), otros relacionados con el tipo de filamento empleado, y finalmente, parámetros que pueden ser afinados para una impresora específica.

1. Ajustes de la impresora:

- tipo de impresora / firmware;
- tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión, altura Z max: un valor típico para el sobre de impresión de las impresoras comunes es 20x20x20 cm;
- número de extrusoras, diámetros de las boquillas, otros parámetros para la extrusión.

2. Ajustes de los filamentos:

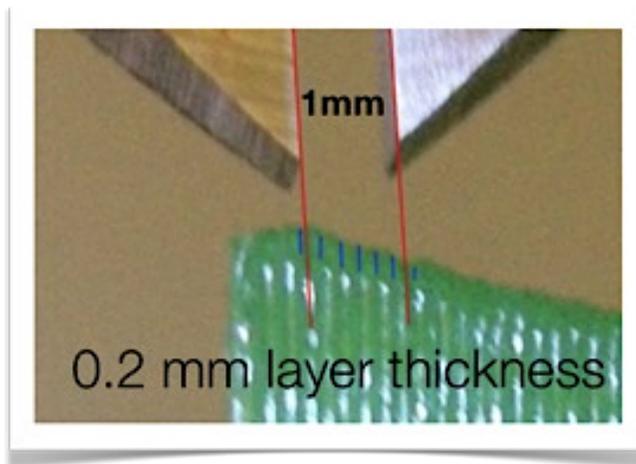
- diámetro del filamento: debe ser una medida real exacta, el valor nominal no es lo suficientemente bueno para el cálculo correcto de la longitud del plástico que se va a extruir;
- el factor de proporcionalidad (o multiplicador, o densidad de empaquetado): se utiliza para compensar la expansión del

plástico cuando se funde; es 1 para PLA y 0,9 o menos para ABS;

- extrusora y temperatura de la cama (puede ser diferente para la primera capa);
- ventilador de enfriamiento.

3. Ajustes de impresión:

- **altura de la capa** (puede ser diferente para la primera capa): por lo general entre 0,1 mm y 80 % del tamaño de la boquilla, 0,25 mm es un valor típico;



- número de conchas / perímetros o grosor de las paredes: el aumento de este valor hará que el objeto sea más robusto;

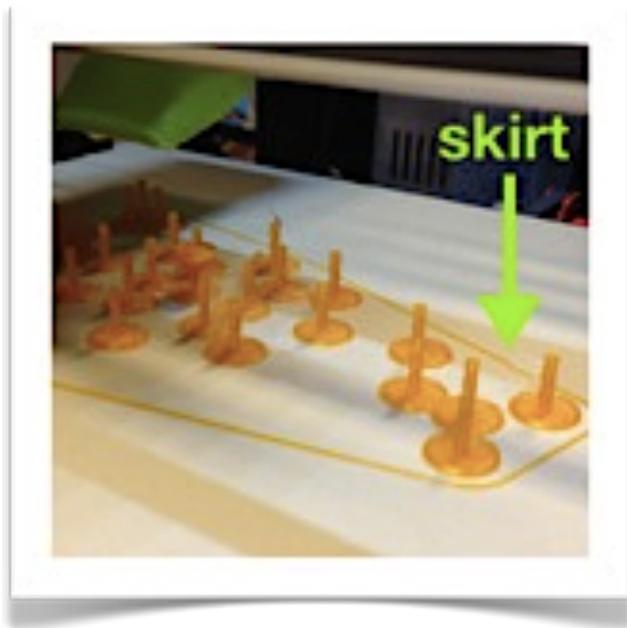
- número / grosor superior / inferior de las capas: igual que el anterior;

- porcentaje de **relleno**: la cantidad de plástico que se utilizará para la mayor parte del objeto; va, normalmente, desde 0 % (objetos huecos) a 50 % (partes sólidas, muy fuertes). Más de 50 % se utiliza raramente, y los valores típicos están alrededor de 10 a 20 %;



- patrón de relleno: es el patrón utilizado para crear el relleno, los más usados son cuadrados (rectilíneos) o hexágonos;
- velocidad de impresión (para las diferentes tareas): este ajuste está muy relacionada con la temperatura de la boquilla, el tipo de filamento y la calidad de construcción de la impresora (y la cantidad de lubricación utilizada para ejes y engranajes); una velocidad lenta por lo general ayuda a conseguir mejores impresiones;

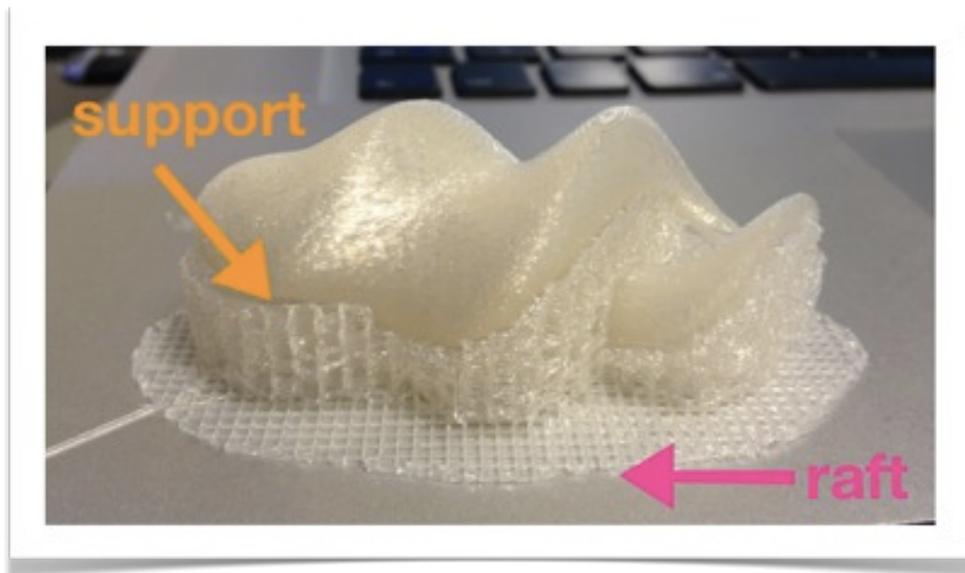
- **falda** (*skirt*) y **borde**: la falda es la cantidad adicional de plástico extruido antes de la impresión real con el fin de evitar una boquilla vacía al iniciar la impresión; el borde (*brim*) es un grosor adicional del filamento en la primera capa para que el objeto se adhiera mejor a la cama;



- **balsa** (*raft*) y **soporte**: la balsa es otra manera de mejorar la adherencia del objeto a la cama por medio de una o dos capas de una red de filamentos de plástico adicional; mientras que el soporte es una estructura esponjosa especial de plástico construida desde abajo para apoyar las partes del objeto que de

otra manera no se podrían imprimir, porque tienen **colgantes** (*overhangs*);

- otros ajustes avanzados.



A la izquierda: soporte. A la derecha: balsa

Las impresoras basadas en FDM no pueden producir estructuras de tipo estalactita o con colgantes muy grandes ya que no tendrían soporte durante la impresión. Si no pueden ser evitadas, se puede añadir al objeto una estructura delgada extra de soporte, que puede desprenderse o cortarse después de terminar la impresión. Muchos programas de rebanado pueden crear automáticamente estas estructuras de soporte. La mayoría de las impresoras manejan colgantes de hasta 45 grados sin necesidad de ajustes especiales.

El modelo 3D debería rotarse para evitar las piezas con colgantes (antes del rebanado), y se puede colocar un

ventilador dirigido hacia la pieza durante la impresión para enfriar el filamento tan pronto como sale de la boquilla y antes de que pueda gotear y arruinarnos la impresión. Finalmente, se puede activar el uso de material de soporte en el software de rebanado, si es necesario. Esto es un problema, porque el proceso usa más plástico, se tarda más en imprimir y después hay que eliminar el material de soporte con un cuchillo.

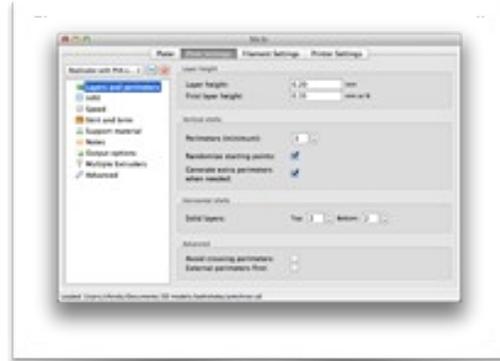
Como ya mencionamos, los diferentes programas de rebanado pueden usar nombres diferentes para los mismos ajustes, y a veces usan parámetros que se definen de manera diferente (por ejemplo, “número de perímetros/conchas” en lugar de “grosor de las paredes”, etc.), así que es importante entender bien el lenguaje y las definiciones del programa rebanador que vamos a usar en nuestra impresora.

Veamos rápidamente los cinco programas de rebanado (gratuitos) más utilizados:

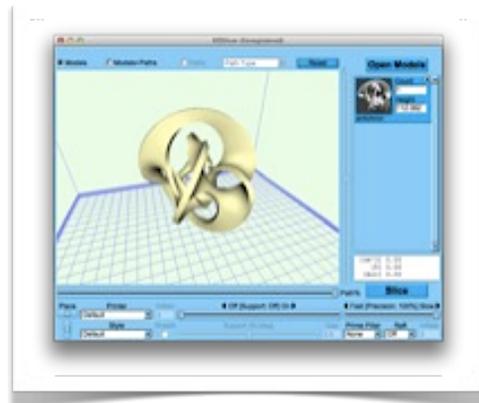
Skeinforge⁴⁷: probablemente el programa rebanador más antiguo; es un conjunto de *scripts* escritos en Python y publicados bajo licencia GPL; fue el mecanismo de rebanado predeterminado de la Makerbot Replicator original (integrado en el software *ReplicatorG*) y de muchas impresoras RepRap 3D. Todavía está presente como opción en *MakerWare* (el programa que tomó el lugar de *ReplicatorG* para el control de las impresoras Makerbot más recientes) y en el otro programa bastante común (gratuito), *Repetier-Host*. La interfaz de usuario no es amable, y algunos ajustes son bastante confusos.

- **Slic3r**⁴⁸: un mecanismo de rebanado moderno, de código abierto, desarrollado activa y completamente; es ampliamente apoyado por los fabricantes de impresoras y presentado como opción principal en *Repetier-Host*.

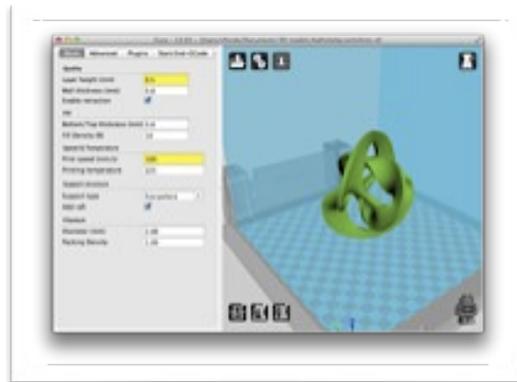
Les ahorra a los usuarios muchos problemas con su función de registrar los diversos parámetros de rebanado lógicamente agrupados en diferentes *presets*.



- **KISSlicer**⁴⁹: tiene una interfaz gráfica sencilla y la pretensión de ser rápido y fácil de usar; puede ser una buena opción para los principiantes de la impresión 3D. Una versión "pro" que añade soporte para múltiples extrusoras y múltiples objetos (y algunas otras características adicionales) también está disponible por un precio de \$42 (\$25 para los "usuarios de educación").



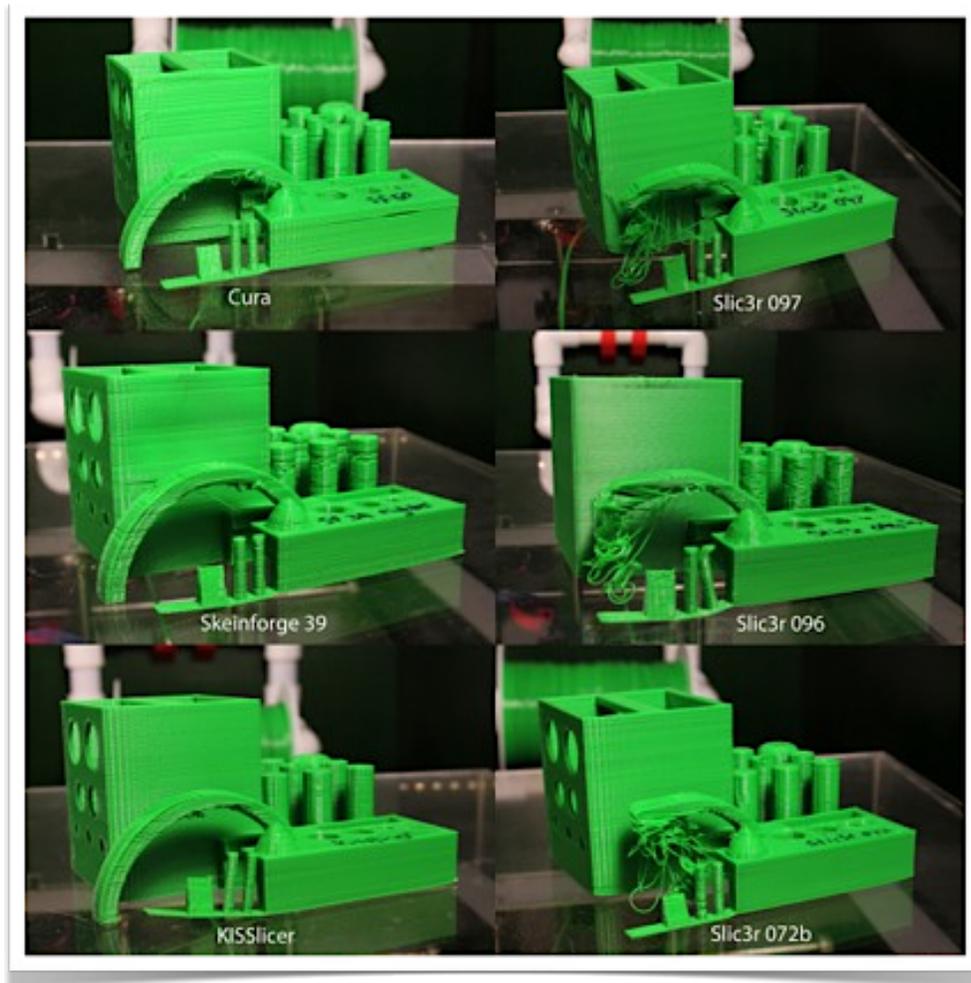
- **Cura**⁵⁰: desarrollado por Ultimaker con el objetivo de hacer la impresión en 3D lo más fácil y ágil posible. Incluye todo lo necesario para preparar un archivo 3D para la impresión y para imprimirlo, y está totalmente preconfigurado para trabajar con la impresora Ultimaker 3D.



- **MakerWare**⁵¹: software bonito y fácil de usar para controlar las impresoras Makerbot Replicator y Replicator 2; también ofrece su propio mecanismo de rebanar optimizado para obtener resultados más fuertes, más rápidos y más consistentes. Además, Skeinforge también puede seleccionarse como mecanismo de rebanado integrado.



La elección entre los diferentes mecanismos de rebanado no tiene que ver solo con las preferencias personales o la lista de prestaciones de las diferentes opciones: algunas impresoras requieren estrictamente el uso de uno o dos rebanadores específicos. Un ejemplo de esto es la Makerbot Replicator 2, cuyo último firmware puede sólo usar una versión nueva (e incompatible con las versiones anteriores) de g-code llamado **.x3g**, de manera que necesita MakerWare o ReplicatorG, los únicos programas rebanadores que pueden generar este tipo de archivos. En otros casos, los fabricantes de la impresora hacen una recomendación estricta de usar un rebanador específico, como en el caso de la Ultimaker que recomienda Cura. Finalmente, la elección del rebanador puede dejarse totalmente al usuario con absoluta libertad para conducir una comparación científica y cuidadosa de los resultados producidos por los diferentes programas de rebanado cuando se enfrente a algunos modelos complejos llamados *tests de tortura*⁵².



Filamentos Plásticos

En este momento (primavera del 2013) hay dos tipos de plástico ampliamente usados para la impresión 3D de bajo costo, y unos cuantos más que son menos comunes. Lo que es interesante es que se están desarrollando y probando más plásticos lo que ofrecerá una gama mucho más amplia de características físicas, químicas y mecánicas, y abrirá el camino a una serie de nuevas aplicaciones para la impresión 3D. La disponibilidad de nuevos materiales de impresión puede cambiar rápidamente el mercado del filamento.



Los filamentos plásticos ahora se fabrican en dos diámetros estándares: 1,75 mm y 3,0 mm. El filamento de 3,0 mm es de alguna manera un estándar más antiguo y poco a poco está siendo eclipsado por

el de 1,75 mm que se puede empujar un poco más fácilmente, se controla un poco mejor y a veces deja menos colas colgando a los lados del objeto. De todos modos, muchas impresoras actuales siguen utilizando filamento de 3 mm, que a veces es un poco menos caro que el de 1,75 mm.

PLA

El filamento de plástico más común está hecho de ácido poliláctico (o polilactida, abreviado PLA⁵³), un plástico biodegradable y respetuoso del medio ambiente derivado del almidón. Su temperatura de fusión es de 180-230 ° C. No huele mal cuando se imprime y los gases no son peligrosos, por lo que no requiere medidas de seguridad especiales o ventilación forzada.

Se pega bien en la cama de impresión a temperatura ambiente (no requiere la opción de cama caliente, más cara), pero sólo si la plataforma está cubierta con cinta azul (también un producto de bajo costo que debe ser reemplazado de vez en cuando, más que todo porque a veces se daña al retirar el objeto de la plataforma).

Los objetos impresos en PLA son robustos pero relativamente frágiles, y no se puede utilizar cuando se necesite resistencia a alta temperatura (como algunas partes de la misma impresora 3D).

El filamento PLA es bastante barato, con un promedio de 30 \$ por kg y por lo general se vende en rollos de 0,5, 1 ó 2,3 kilogramos (pero algunos fabricantes los venden también por metro⁵⁴). Está disponible en color natural (blanco translúcido) o en muchos colores brillantes, sólidos o semitransparentes, y los objetos impresos tienen una superficie lisa hermosa.

Una variante especial de PLA es el PLA blando o flexible, que debe ser extruido a una temperatura más baja y a muy baja velocidad; se puede utilizar para imprimir juntas flexibles, correas, neumáticos, etc.

ABS

El segundo filamento más común está hecho de Acrilonitrilo butadieno estireno, abreviado ABS⁵⁵: es un plástico derivado del petróleo utilizado para muchos propósitos y bien conocido por las piezas LEGOTM. Sus vapores huelen mal e incluso se consideran peligrosos para la salud, por lo que es muy recomendable utilizar ventilación forzada con extracción de vapores cuando se imprime con ABS por un largo tiempo. La temperatura de fusión de ABS es 210-260 ° C.

El ABS cuesta más o menos como el PLA y es también un material de impresión común a pesar de sus requisitos más exigentes. Un objeto en ABS generalmente se imprime en cama caliente (alrededor de los 100 °C) cubierto con cinta Kapton para que se pegue bien, lo que suma costo y complejidad a la impresora (por esta razón, no todas las impresoras vienen con una cama caliente por defecto, y algunas ni siquiera lo tienen como una opción). Una posible solución es imprimir ABS sobre una cama fría cubierta con unas pocas capas de pegamento: el cianoacrilato, la laca para cabellos⁵⁶ o un pegamento a base de agua como Vinavil® ⁵⁷ funcionan bien para este propósito.

Pero se recomienda el uso de una cama caliente porque ayuda a reducir la deformación en la impresión de objetos grandes.



La ventaja del ABS sobre el PLA es que los objetos resultantes son más robustos, menos frágiles y pueden resistir temperaturas más altas. El filamento ABS es fácil de adquirir en muchos colores, incluyendo variedades con brillo, con brillo en la oscuridad,

oro y plata; e incluso colores que cambian con la temperatura⁵⁸, por ejemplo, azul/verde por debajo de 30 ° C y amarillo/verde por encima, por lo que los objetos impresos con este tipo de filamentos son sensibles a la temperatura corporal.

Nylon

Taulman⁵⁹ produce el filamento *618 Nylon*® que tiene algunas características interesantes, entre ellas la flexibilidad, ligereza y resistencia química. Debe ser extruido a una temperatura superior en comparación con PLA o incluso ABS (alrededor de 245 ° C), pero no hay producción de vapores u olores, y se pega bien en la cinta azul. Se utiliza para la impresión de partes mecánicas que necesitan alta resistencia a la rotura y una superficie de fricción muy baja; pero otro uso potencial muy interesante es para la impresión de prótesis a medida y partes relacionadas con la medicina ya que el nylon es inerte para el cuerpo humano (aunque no está oficialmente aprobado por la FDA, al menos por ahora). El costo de filamento de nylon es más del doble que el del PLA o el ABS, el único color disponible es blanco (natural) y la única fuente es Taulman.

PC

El *Polycarbonato*⁶⁰ (PC), es un material plástico muy resistente y duradero con alta claridad óptica y alta temperatura de fusión (unos 270 a 300 °C). A pesar de que se utiliza en muchas producciones industriales (por ejemplo, los CD y los DVD están hechos de policarbonato) las primeras pruebas con las impresoras 3D de bajo costo comenzaron apenas en 2012⁶¹ y todavía hay pocos fabricantes de filamento de PC y lo venden bastante caro: unos 90 \$/kg.

PVA

El alcohol de polivinilo es un polímero plástico soluble en agua que puede ser utilizado para la impresión de las estructuras de apoyo para objetos en PLA y ABS; se disuelve fácilmente en agua caliente y deja una superficie perfecta del objeto, con lo que se simplifica el proceso (por lo general bastante tedioso) de retirar el soporte. La temperatura de impresión es de alrededor de 170°C y nunca debe superar los 200°C. El filamento de PVA también es bastante caro: unos 90\$/kg

HIPS

El Poliestireno de alto impacto⁶² (*High-impact Polystyrene: HIPS*) es un filamento de plástico soluble en limoneno; a veces se usa para construir estructuras de apoyo (especialmente para ABS) que se pueden quitar fácilmente sin trabajo mecánico. El limoneno es un disolvente natural que se extrae de la cáscara de los limones y otros cítricos. La impresión en HIPS requiere una temperatura de alrededor de 230°C. El costo del filamento HIPS es de unos 40 \$/kg.

Otros tipos de plástico

LAYWOO-D3 es un filamento basado en madera producido recientemente⁶³. Técnicamente es un compuesto madera-polímero que contiene madera reciclada y puede usarse para imprimir objetos que van a tener una apariencia de madera (incluso con los típicos anillos de crecimiento). Las otras características son parecidas a las del PLA, pero el precio es muy alto, rondando los 100\$ /kg y se necesita aplicar ciertos trucos⁶⁴ para cambiar el color de los anillos. Para concluir, ha habido algunos experimentos con *plástico conductor*⁶⁵ pero la resistencia del mismo es todavía demasiado alta y todavía no han logrado desarrollar un producto comercial.



Imprimir

A este punto, ya deberíamos tener a nuestra disposición una impresora seleccionada cuidadosamente, lista para su inauguración; un filamento con el diámetro adecuado para la impresora y con el color apropiado para los propósitos de nuestro diseño y un archivo g-code producido por el software de rebanado adecuadamente configurado de acuerdo con las propiedades que queremos imprimirle a nuestro objeto. Ha llegado el tiempo de encender la impresora y de conectarla al computador anfitrión y de comenzar el **procedimiento de calibración**:

1. El primer problema a resolver será el de encontrar los parámetros correctos para las conexiones: la mayoría de las impresoras, a pesar de estar conectado a través de USB, utilizan internamente un chip para conversión de USB a serial para proporcionarle a la CPU un flujo de datos en serie (*tipo RS-232*); esto significa que la velocidad de la línea serial, el número de bits de arranque/parada y paridad y el procedimiento de toma de contacto (*handshaking*) tienen que coincidir con los valores correctos.
2. Cuando finalmente se establezca la conexión –después de algunos ensayos y errores–, podemos empezar a mandar las instrucciones de *g-code* a la impresora para chequear que todo esté trabajando bien. Un buen procedimiento de calibración debería incluir la prueba de todos los sensores de fin de recorrido (*end-stop*), los de temperatura y de los motores paso a paso.
3. Cuando se hayan pasado todas las pruebas, podemos hacer el nivelado de la cama de impresión: lo ideal es tener una plataforma que sea lo más plana posible y perfectamente paralela en todas las direcciones a los ejes del cabezal móvil de impresión. Para obtener este objetivo tenemos que mover el cabezal en todas las direcciones comparando su posición vertical con la de la plataforma y corrigiendo el nivel de esta última por medio de tornillos, subiendo o bajando las cuatro esquinas de la plataforma.
4. Después del nivelado, se debería limpiar cuidadosamente la plataforma y cubrirla con el material adecuado: puede hacerse con una o dos capas de cinta azul (para PLA) o cinta Kapton (para ABS), o el material que sea apropiado para otros tipos de plástico.

5. Si vamos a usar filamento ABS, no se debería pre-calentar la cama de impresión.
6. El próximo paso es cargar el filamento: para esto necesitamos calentar el cabezal de impresión (es decir, la boquilla) y accionar el engranaje de extrusión, bien sea a mano o activando el motor paso-a-paso de extrusión. Luego de extruir un poco de plástico ya estaremos seguros de que la boquilla está llena con el plástico y de que está lista para la impresión real.
7. Ahora cargamos el g-code correspondiente al objeto que queremos imprimir bien sea mandándolo por la conexión USB o guardando el archivo en una tarjeta SD (o micro SD) y luego cargándolo en la impresora (si esta tiene un lector de tarjeta incorporado).
8. Finalmente, podemos empezar la impresión. Ha sido una larga jornada y nos merecemos un descanso y hasta un café mientras esperamos que la impresora termine y el objeto se haya creado a partir de un filamento plástico en bruto.

El tiempo de impresión de un objeto hueco de pocos centímetros de ancho es de unos 10-20 minutos, mientras que para un objeto del tamaño de una manzana el tiempo se incrementa a una hora o más (dependiendo de la resolución, relleno y velocidad de la impresora). La impresión de objetos más grandes puede tomar fácilmente 10 horas, y si además son complejos, o con un relleno sólido, el tiempo se eleva a 50 o más horas.

Como consejo de precaución, puede ser peligroso dejar una impresora 3D sin vigilancia mientras está imprimiendo porque algunas de sus partes tendrán temperaturas constantes

de 200°C o más, hay plástico fundido saliendo por la boquilla, hay presencia de electricidad, partes que se mueven, motores en marcha y a menudo tenemos un marco de madera que tiene poca protección anti-fuego. Cuando las cosas salen realmente mal, una impresora 3D puede ser tan peligrosa como una impresora láser con todas sus piezas calientes.

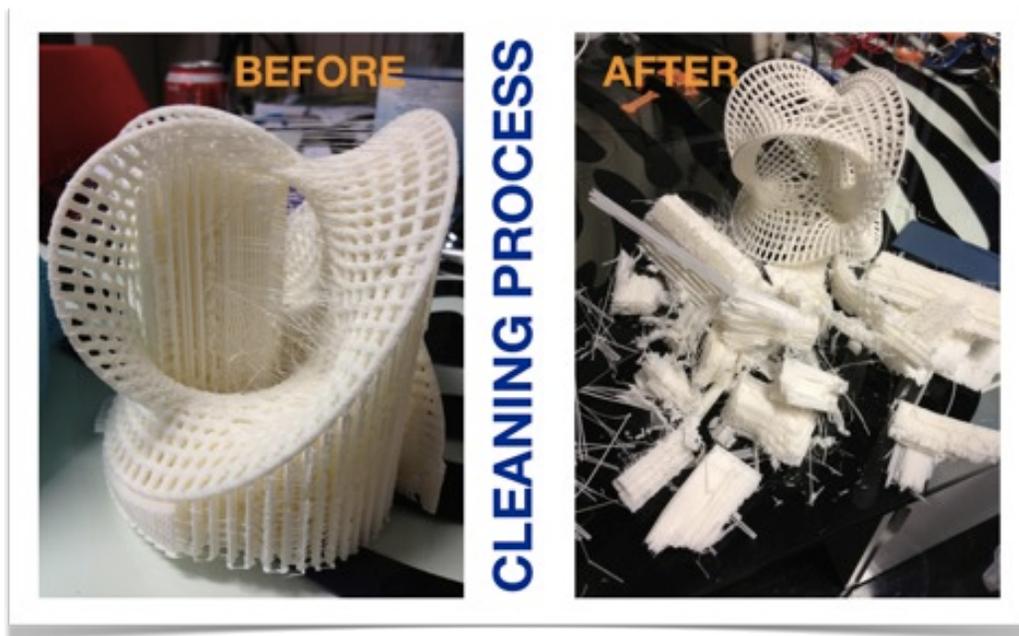
Muy a menudo nuestro resultado va a ser un amasijo de plástico que no tiene nada que ver con nuestro modelo inicial⁶⁶. Pero a menudo, también, la recompensa es la impresión exitosa de nuestra idea inicial que ahora se ha convertido en un objeto 3D real a partir del cual podemos continuar con nuevos experimentos e incluso mejores resultados.



De izquierda a derecha: Ideal, probable, el peor de los casos

Acabado

Después de que la impresora haya terminado de imprimir un objeto, vale la pena dejarla reposar un par de minutos para que todas las partes se enfríen, y en el caso de ABS será también mucho más fácil para separarlo de la cama. A continuación puede que haya que remover la balsa y/o las estructuras de soporte, con la ayuda de un cuchillo afilado o un cúter (cutter).



Proceso de limpieza: antes (izquierda) y después (derecha)

Como paso adicional, y si quisiéramos un acabado brillante, la superficie del objeto puede pulirse con papel de lija (con precaución para no dañar la superficie delicada), o por medio de solventes químicos (por ejemplo, Acetona⁶⁷ vaporizada para ABS u otros solventes⁶⁸ para PLA, con precauciones ya que algunos de estos químicos son muy

venenosos), o usando calor (con un secador de pelo); o incluso, aplicando una capa delgada de barniz transparente u opaco.



Izquierda: altura de capa de 0.35 mm con tratamiento de baño de vapor. Centro: capa de 0.1 mm. Derecha: capa de 0.35 mm

Conclusiones

Durante la revisión de este artículo me hicieron la observación de que cualquier principiante que lo leyera sin haber antes impreso un objeto 3D con estas tecnologías de bajo costo se desanimaría y evitaría la experiencia. La impresión que se desprende podría ser que intentarlo va a ser difícil y que el resultado puede ser un completo desastre. Siento la necesidad de corregir esta idea y de animar a los/las lectores/as a asumir el reto. Estoy seguro de que el intento va a ser exitoso y de que va a mostrarles la gran belleza de esta tecnología y del hecho de que esté al alcance de cualquiera que tenga un poco de paciencia y deseos de aprender algo nuevo.

La impresión 3D casera con máquinas baratas, y en el futuro con uso de plástico reciclado⁶⁹ es una verdadera



novedad, incluso en nuestro mundo tecnológico actual; pero es también una revolución de la manera en que nos vemos a nosotros mismos: al ser capaces de *crear* algo *nuevo* sólo con la ayuda de nuestra *imaginación* y de asistentes mecánicos *asequibles* y amistosos (son nuestros amigos porque

conocemos sus mecanismos *internos* y sabemos cómo funcionan), sabemos que podemos abrirle la puerta a un futuro increíble de dispositivos de fabricación personal y de nuevas aplicaciones que aún hoy no podemos imaginar. *Un nuevo mundo comenzará a partir de nosotros.*

Nota: Los precios y características mencionadas en este artículo son actuales para la fecha en que fue escrito en abril de 2013.

Reconocimientos

El autor quiere agradecerle a Daniel Pietrosevoli por haberle hecho conocer el maravilloso mundo de la impresión 3D de bajo costo; a Ermanno Pietrosevoli, por haber servido de puente de comunicación entre Daniel y yo; a Enrique Canessa por su flujo de ideas enriquecedor, por los desafíos, y por su fe en el poder del enfoque científico en la resolución de los problemas planteados durante la impresión de algunos

objetos matemáticos muy complejos; a Jonathan Gatti por su constante ayuda y apoyo durante las impresiones y por último, pero no menos importante, a Gaya Fior por su valioso apoyo y por las muchas correcciones que le hizo a mi enrevesado inglés-italiano, y por armar (con Jonathan y Ermanno) la mayoría de mis impresoras mientras yo andaba ocupado en otras tareas; y por la investigación que hizo sobre softwares de modelado de impresión 3D y repositorios de modelos, información que he usado ampliamente para escribir partes de este artículo.

Referencias

- 1 http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_printing
- 2 http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing
- 3 <http://en.wikipedia.org/wiki/Stratasys>
- 4 http://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling
- 5 http://en.wikipedia.org/wiki/Selective_laser_sintering
- 6 http://en.wikipedia.org/wiki/Powder_bed_and_inkjet_head_3d_printing
- 7 <https://archive.fosdem.org/2010/interview/adrian-bowyer>
- 8 <http://adrianbowyer.net>
- 9 <http://reprap.org>
- 10 http://en.wikipedia.org/wiki/Maker_culture

- 11 <http://bits.blogs.nytimes.com/2013/02/17/disruptions-3-d-printing-is-on-the-fast-track/>
- 12 <http://www.wired.com/design/2012/09/how-makerbots-replicator2-will-launch-era-of-desktop-manufacturing/all/>
- 13 http://en.wikisource.org/wiki/Barack_Obama's_Fifth_State_of_the_Union_Address
- 14 <http://www.sketchup.com>
- 15 <http://www.freecadweb.org>
- 16 <http://www.blender.org>
- 17 <http://labs.autodesk.com/technologies/fusion>
- 18 <http://www.openscad.org>
- 19 <http://pixologic.com/sculptris/>
- 20 <http://www.123dapp.com/design>
- 21 <https://tinkercad.com>
- 22 <http://www.3dtin.com>
- 23 <http://shapemith.net>
- 24 <http://www.cubify.com/apps.aspx>
- 25 <http://www.thingiverse.com>
- 26 <http://www.123dapp.com/Gallery/>
- 27 <http://www.3dcadbrowser.com>

- 28 <http://grabcad.com/library>
- 29 <http://www.shapeways.com/gallery>
- 30 <http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>
- 31 <http://www.3dvia.com/users/models>
- 32 http://reprap.org/wiki/Build_A_RepRap
- 33 <http://reprap.org/wiki/Rostock>
- 34 <http://www.ultimaker.com>
- 35 <http://printrbot.com>
- 36 <http://www.makerbot.com>
- 37 <http://www.solidoodle.com>
- 38 <http://www.pp3dp.com>
- 39 <http://cubify.com/cube/>
- 40 <http://blog.makezine.com/volume/make-ultimate-guide-to-3d-printing/>
- 41 <http://netfabb.com/basic.php>
- 42 <http://www.3daddfab.com/blog/index.php?/permalink/Automatically-Repair-STL-Files-in-2-Minutes-with-netfabb.html>
- 43 <http://3daddfab.com/blog/index.php?/permalink/Use-netfabb-to-Manually-Repair-STL-Holes-Edges-and-More.html>
- 44 <http://meshlab.sourceforge.net>

45 http://www.shapeways.com/tutorials/polygon_reduction_with_meshlab

46 http://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html

47 <http://fabmetheus.crsndoo.com/wiki/index.php/Skeinforge>

48 <http://slic3r.org>

49 <http://kisslicer.com>

50 <http://wiki.ultimaker.com/Cura>

51 <http://www.makerbot.com/makerware/>

52 <http://solidoodletips.wordpress.com/2012/12/04/slicer-torture-test/>

53 <http://reprap.org/wiki/PLA>

54 <http://www.faberdashery.co.uk/products-page/>

55 <http://reprap.org/wiki/ABS>

56 <http://www.protoparadigm.com/blog/2013/03/testing-aqua-net-hair-spray-for-3d-printer-bed-adhesion/>

57 <http://www.ivanbortolin.it/?p=752> (en italiano)

58 http://afinia.3dcartstores.com/ABS-175-mm-Filament--Color-Change-BlueGreen-to-YellowGreen_p_40.html

59 <http://www.taulman3d.com/618-specifications.html>

60 <http://reprap.org/wiki/Polycarbonate>

61 <http://www.3ders.org/articles/20120101-experiment-polycarbonate-with-diy-3d-printer.html>

- 62 <http://www.filaco.com/product-info/>
- 63 <http://www.3ders.org/articles/20130204-wood-filament-laywoo-d3-suppliers-and-price-compare.html>
- 64 <http://www.tridimake.com/2012/10/shades-of-brown-with-wood-filament-via.html>
- 65 <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0049365>
- 66 <http://www.thingiverse.com/thing:44267/copies>
- 67 <http://blog.reprap.org/2013/02/vapor-treating-abs-rp-parts.html>
- 68 <http://www.thingiverse.com/thing:74093>
- 69 http://www.perpetualplasticproject.com/Perpetual_Plastic_Project/Project.html