

Impresión 3D con herramientas libres

FABRICA PERSONAL

El exótico mundo de la impresión 3D ha sido desde siempre el coto privado de caras herramientas propietarias, pero una creciente comunidad apoyada en licencias libres ya nos permite imprimir objetos 3D a bajo coste.

POR JAMES A. BARKLEY

La Producción Aditiva o AM (Additive Manufacturing) es el proceso de unir materiales para construir objetos a partir de la información de un modelo 3D, usualmente capa sobre capa. También se la conoce por fabricación aditiva, fabricación a capas o fabricación de forma arbitraria. La producción aditiva representa un mercado de casi 2.000 millones de dólares, con cerca de 150 máquinas diferentes, 50 fabricantes OEM y 173 materiales disponibles para su uso. Al proceso de producción aditiva a menudo se le llama impresión 3D, aunque este término a veces se usa peyorativamente para referirse sólo a las máquinas de bajo coste, a las de baja tecnología, o a ambas.

A pesar de que las tecnologías originales para la impresión 3D existen desde hace más de 20 años, han evolucionado enormemente en los últimos cinco años, siendo la tecnología AM la que está liderando la marcha de la revolución de la producción de escritorio. Si tenemos los recursos, podemos conseguir una máquina AM de gama alta desde un mínimo de 500.000\$ (por ejemplo, las unidades Electron Beam

Melting de Arcam Industries) que producen piezas en aleaciones de titanio completamente operacionales. En el otro lado del espectro, han aparecido un buen número de impresoras 3D de bajo coste asociadas a licencias libres (hace falta un cierto ensamblaje).

Impresión 3D con Fuentes Libres

La impresión 3D con Fuentes Libres es una parte del movimiento Open Source Hardware (OSH), en el cual no sólo se publica software bajo licencias libres, sino que también son libres las cuentas de los materiales (incluyendo su coste), instrucciones de ensamblado, firmware, esquemáticos para los componentes electrónicos, información del diseño PCB y cualquier otra información relacionada. Se han propuesto algunas nuevas licencias, como la TAPR Open Hardware License, pero la mayoría de los proyectos OSH tienden simplemente a reutilizar licencias de software libre como la GPL y la LGPL. Personalmente, prefiero la GPLv3 debido a sus protecciones internacionales y la cláusula "anti-tivolización".

Para construir una impresora 3D, necesitaremos lo siguiente:

- Algo de capital (entre 750 y 4.000 dólares). Si no tenemos dinero, ¡no se preocupe! Considere asociarse con amigos o con su comunidad local de hackers. Otra opción a considerar es visitar nuestro club local de hackers o buscar la lista de correo apropiada (por ejemplo, la Hacklab o Grupo de Usuarios Local) para ver si alguien le ayuda replicando alguna de las partes necesarias con una máquina ya construida.
- Un laboratorio con algunas herramientas básicas, incluyendo pelador de cables, soldador y un juego de llaves Allen. Un garaje u office con un escritorio vacío será suficiente, pero necesitaremos una superficie plana, completamente despejada de 1x1,5 metros como mínimo. Podemos ahorrarnos tener que conseguir algunas herramientas si podemos gastarnos algo de dinero en pre-ensamblado. Igualmente, la mayoría de las ciudades tienen espacios comunitarios de hackers con recursos compartidos que podríamos usar. (Ejemplos de espa-

cios hacker son el NYC Transistor, el AS220 en Rhode Island y el Willoughby y Baltic en Somerville, Massachusetts). También podemos encontrar una buena lista de espacios hacker de todo el mundo online [1].

- Un ordenador. Para controlar nuestro nuevo dispositivo. Servirá cualquier sistema operativo, pero yo prefiero open-SUSE.

El primer paso es seleccionar la impresora que queremos construir. CupCake [2] (Figura 1), Fab@Home [3] (Figura 2) y Rep Rap Generación 2 [4] (Figura 3) son buenas elecciones. Revise con cuidado las hojas de especificaciones, pues le ayudará en la elección, y visite sus páginas Web para ver qué comunidad le interesa más. Cada impresora tiene varias versiones, siendo las últimas versiones las mejores.

Una vez hemos seleccionado la impresora, la siguiente decisión que tenemos que tomar es cuánta soldadura, ensamblaje y ajustes queremos hacer. Debido a que son todos proyectos con licencias libres, podemos comprar cada uno de los componentes individuales de la lista y construirlo nosotros mismos desde cero. En el otro extremo de la escala, podemos pagar un sobre-coste y obtener la impresora completamente construida.

En la práctica, la mayoría de la gente hace algo intermedio: se suele pedir un kit que tenga algunos componentes preensamblados, como la parte electrónica. Ésta es una buena relación entre precio y una considerable carga de tedioso trabajo, dejando aún bastante trabajo manual con el que aprender en el proceso de construcción.

No se sorprenda si encuentra que ha olvidado alguna parte necesaria, o si al kit que hemos ordenado le falta una parte. Es fácil perderse con todas las piezas que se necesitan. Y tenga en mente que las jóvenes empresas que venden los kits aún están aprendiendo mucho acerca de gestión de cadena de suministros y sistemas de calidad.

Ensamblado de la Impresora

Dependiendo de la impresora que hayamos elegido, las instrucciones de ensamblado se entregarán con el kit (por ejemplo, RapMan se entrega fuera de Reino Unido con instrucciones detalladas y modelos 3D animados mostrando el ensamblaje en forma de un documento PDF), o bien será dirigido de nuevo a una wiki.

Unas palabras de advertencia: Puede ocurrir que las instrucciones contengan algunas pequeñas incoherencias, por lo que debe estar preparado para pensar críticamente y tomar sus propias decisiones. La incoherencia más común es que alguna figura de una parte particular de las instrucciones no se parezca a la parte que tenemos delante. Algunas veces es simplemente debido a que tiene un color diferente o está hecha de un material distinto a la pieza que muestra la figura. En otros casos, es debido a que el diseño ha evolucionado más rápido que la documentación. Esto me ocurrió en numerosas ocasiones, y me di cuenta de que, por ejemplo, se estaban usando piezas diferentes en esquina para mejorar la estabilidad.

De igual manera, no es raro que los sistemas eléctricos, firmware y los sistemas de software evolucionen sin la actualización en la documentación correspondiente o, en algunos casos, con correcciones especiales en la documentación, por lo que debe asegurarse y verificar los números de versión impresos en las placas y debe comprobar que estamos usando las versiones de documentación, firmware y software correctos.

Firmware y Software

En la mayoría de los casos, compraremos la placa con el firmware ya instalado. Sin embargo, puede que queramos asegurarnos e incluso actualizar nuestro firmware. Adicionalmente, necesitaremos software especial para operar el aparato, e incluso puede que queramos escribir algo de código de control nosotros mismos para interactuar con el dispositivo. Dispositivos diferentes usan diferentes paquetes de software y distintos métodos de comunicación con el dispositivo, por lo que es mejor verificarlo con las instrucciones específicas de la unidad, o en las páginas wiki y foros.

A continuación veremos algunos detalles acerca de cómo proceder con los aspectos de software de las impresoras 3D para los dispositivos CupCake y RepRap, los cuales usan firmware y software derivados del mismo código fuente. Podemos imprimir con un dispositivo CupCake o RepRap a través de Windows, OS X o Linux, pero los ejemplos mostrados a continuación están basados en Ubuntu 9.10, Karmic Koala,

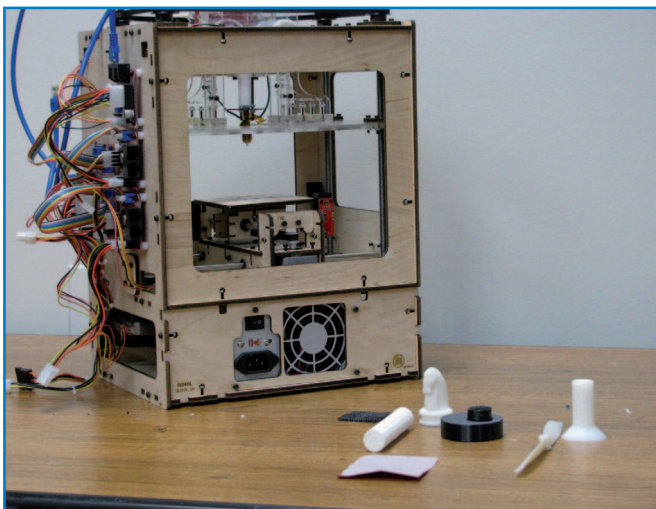


Figura 1: MakerBot Industries proporciona diversos kits para construir la impresora CupCake.

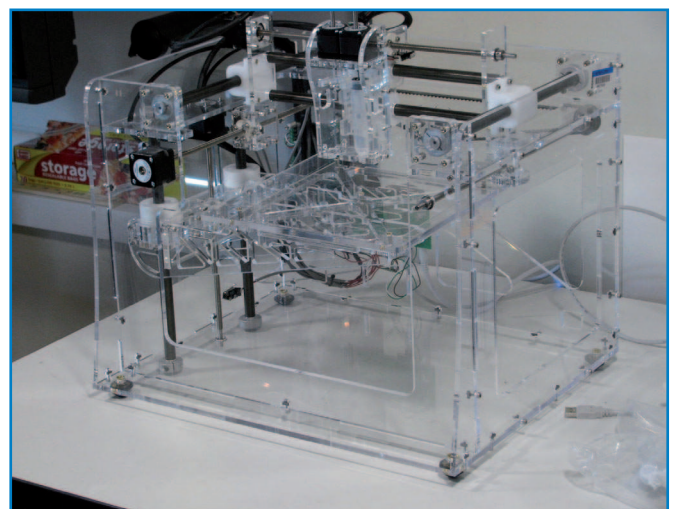


Figura 2: El proyecto Fab@Home se refiere a su impresora como un "fabricante personal".

en hardware x86 con versión del kernel 2.6.31-20.

Configurar nuestro Entorno Software

Primero y más importante: Necesitaremos el conector correcto para comunicarnos con el dispositivo. Algunas impresoras 3D usan puerto serie y otras usan USB, pero una de las maneras más comunes de comunicarse con la placa es con un cable USB a puerto serie, que

deberíamos poder encontrar con facilidad.

Necesitaremos descargar e instalar las siguientes herramientas:

- ReplicatorG [7]. Una herramienta software diseñada para ayudarnos con diversos aspectos del proceso de impresión 3D, incluyendo la subida de firmware, testeo de la impresora e impresión.
- Arduino y ampliación Sanguino [8]. Las ampliaciones se necesitan si hemos sol-

dado nuestra placa a partir de un kit y estamos instalando el firmware por primera vez, o si queremos programar el Arduino con nuestro propio firmware.

- Skeinforge [7]. Una magnífica herramienta para traducir un modelo 3D a las instrucciones que necesita la máquina para imprimir.
- El firmware más reciente. ReplicatorG incluye el firmware (versiones antiguas), o bien podemos descargar el último firmware desde la Web.

Construir una impresora 3D

Existen muchos tipos de tecnologías de Producción Aditiva, que varían desde rayos láser que derriten metal, hasta difusión tipo inkjet del material, que luego se trata con rayos UV. El género de impresoras 3D de fuentes libres usa en general el mismo tipo de tecnología, que a menudo se conoce como extrusión o extrusión termoplástica. Esto significa simplemente que se calienta un material más allá de su punto de fusión y entonces se saca por una pequeña boquilla para depositarlo. Generalmente se enfriará rápidamente y a continuación se podrá imprimir otra capa encima de la anterior. Este proceso es similar al de las pistolas de silicona, e incluso al de soldadura, pero es controlado por ordenador, lo que es la clave. Las partes principales de este tipo de sistema de impresora 3D son:

- El marco. El marco proporciona estabilidad mecánica y alberga el dispositivo. Los marcos generalmente son de madera o acrílico cortados con láser. Los archivos con licencias libres están generalmente disponibles en formato DXF. Si tenemos estos archivos, normalmente podemos encontrar algún servicio de cortado con láser o agua que nos proporcione las piezas a un coste razonable, o podemos pedirlos a un fabricante de impresoras 3D como MakerBot Store [2].
- La plataforma de construcción. La superficie sobre la cual se van a imprimir nuestros objetos generalmente es una pieza cuadrada de acrílico o madera. La plataforma de construcción se moverá arriba y abajo durante el proceso de impresión para crear la profundidad necesaria para nuestro objeto. Mucha gente está ahora experimentando con una plataforma de construcción calentada porque proporciona mejores propiedades al pegado del material.
- El cabezal de extrusión. El cabezal de extrusión (Figura 4) es la pieza que empuja el material hasta la plataforma de construcción o la capa de material anterior. En el proyecto Fab@Home, se trata de un sistema de jeringuilla, el cual puede aceptar toda una variedad de materiales y pueden remplazarse de forma barata en caso de una construcción fallida. En CupCake y otros derivados de RepRap, el cabezal de extrusión es una fina boquilla con un elemento de calentamiento. Todas las formas de cabezal de extrusión tienen algún tipo de circuitería de feedback en un elemento de control del motor que permite controlar el ritmo de extrusión y a menudo muchas otras cosas, como la temperatura.
- Los controladores x , y y z . El cabezal comienza la extrusión mientras se mueve en las direcciones x e y , y la plataforma se mueve en la dirección z arriba y abajo para controlar la profundidad. Cada movimiento en cada plano implica los mismos componentes: componentes eléctricos para controlar el movimiento, un motor paso a paso para convertir la energía eléctrica en energía mecánica y una combinación de poleas y ejes tirados o empujados por el motor paso a paso para mover el cabezal de extrusión o la plataforma de construcción.
- La placa madre. Se trata generalmente de algún tipo de placa Sanguino o Arduino con un firmware a medida y tal vez algún procesador, memoria o conectores extra. El propósito de la placa madre es leer el conjunto de instrucciones y orquestar la

temperatura, el ritmo de extrusión y los movimientos en los planos x , y y z . La placa madre también tiene entradas para controlar la máquina y enviarle información. En algunos casos, puede incluso tener un lector de tarjetas SD, desde donde pueden leerse archivos con modelos a imprimir.

- Interfaz de usuario. La interfaz de usuario generalmente se realiza a través del ordenador, aunque en algunos casos, como en RapMan, existe una pequeña y útil pantalla en la placa madre con botones de control básicos con los que se pueden imprimir archivos desde una tarjeta SD. En función de qué modelo hayamos elegido, simplemente tendremos que buscar en la página Web y descargar el software.
- Materiales. Con extrusión termoplástica, podemos usar una barra de soldadura PVC o varillas de plásticos ABS. El coste de los materiales es bajo, y duran bastante. En otros casos, como con Fab@Home o con la máquina de Evil Mad Scientist Laboratories [5], el material podría ser azúcar granulado, mantequilla de cacahuete, material a tratar con rayos UV o cualquier otra cosa que se nos pueda ocurrir.
- Topes. Con los topes nos aseguramos de que cuando estamos moviendo algo como el cabezal de extrusión, no chocamos contra la pared del marco y así evitamos dañar los componentes. Pueden ser simples interruptores eléctricos o planos de rayos IR que se interrumpen cuando llegamos demasiado cerca del límite en una dirección. Los topes se usan a menudo (no siempre) para encontrar la posición de partida de la máquina, lo que puede significar la posición absoluta $x=0$, $y=0$ y $z=0$ desde la que comenzamos a imprimir.
- Componentes para modificaciones. La gente a menudo hace sus propias variaciones y mejoras en sus sistemas. Puede que queramos añadir un segundo cabezal de extrusión para aportar el material, añadir un sistema con iluminación UV o disponer de una plataforma de construcción calentada. Recomendando encarecidamente navegar por MakerGear [6], donde encontraremos muchas ideas.

La construcción mecánica del marco y de los sistemas de poleas es generalmente la primera cosa que hay que hacer, seguida de todo el cableado, soldado y todas las labores para conseguir que los componentes de control queden fijos a la placa madre. En algunos casos, cada uno de los motores x , y y z tienen su propia placa de control que puede conectarse a la placa madre, o de otro modo tendremos que conectar los motores a la placa madre. Tras esto, deberemos fijar la plataforma de construcción y ensamblar el cabezal de extrusión. En este punto, tendremos que flashear el firmware de la placa madre y de las otras placas de controladores y probar los componentes. Si funcionan, montaremos el cabezal de extrusión y ya podemos hacer una primera prueba de nuestra nueva máquina.

No espere hacer todo esto en un fin de semana. Construir una impresora 3D desde cero puede ser un ejercicio de paciencia, y un pequeño error puede hacernos retroceder un largo camino. Aborde la tarea de forma metódica y paciente para obtener el mejor resultado.

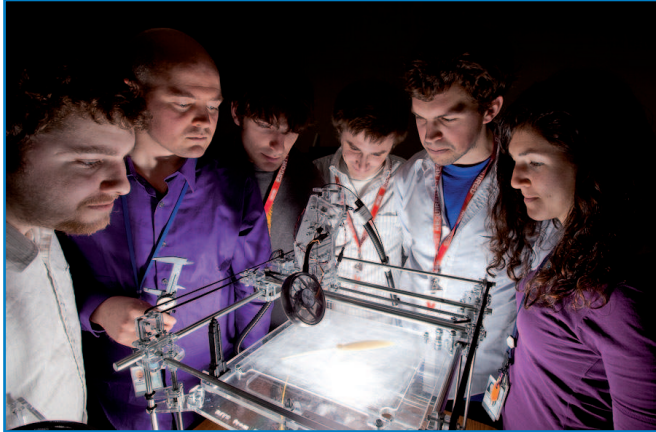


Figura 3: Observamos el progreso de RepRap2.

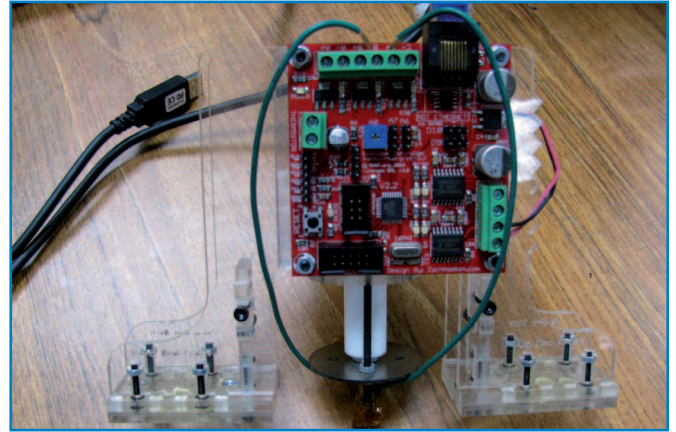


Figura 4: Un ejemplo de cabezal de extrusión.

Para comunicarnos con el dispositivo necesitaremos un programador AVR, como el conector de seis pines USBtinyISP de Lady-Ada [9] o de Adafruit [10].

Adicionalmente, puede que necesitemos algunas otras herramientas, como git, sun-java, avrdude, y los módulos del kernel ftdi_sio y usb_serial instalados y cargados. Algunas de estas librerías adicionales son necesarias para emular una interfaz serie en un dispositivo USB. Encontraremos instrucciones para compilar avrdude en [11], pero en nuestro caso fuimos capaces de salir adelante con:

```
apt-get install \
sun-java6-jdk gcc-avr avr-libc \
avrdude libusb libftdi \
libftdi-dev
```

Grabar el Bootloader

Debido a que el procesador inicialmente sólo puede ejecutar código encontrado en la ROM, necesitaremos un cargador de arranque cuya única función sea cargar el firmware (o sistema operativo) desde memoria no volátil. Grabar el cargador de arranque es tan sencillo como conectar USBtinyISP a nuestro puerto USB del ordenador, conectar USBtinyISP a la placa madre de RepRap, abrir el software de Arduino, seleccionar la opción *sanguino* en *boards*, y elegir a continuación la opción *Tools | Burn Bootloader | w/ USBTinyISP* en el menú. El software de Arduino nos indicará si hemos tenido éxito o no.

Instalar/Actualizar nuestro Firmware

Ahora que ya tenemos todo el software instalado y el cargador de arranque gra-

bado en la placa madre y en el extrusor de plástico, debemos asegurarnos de que podemos acceder a la impresora a través de ReplicatorG. Si lo hemos instalado correctamente, deberíamos ser capaces de ubicarnos en el directorio de instalación y acceder al ejecutable desde la línea de comandos:

```
~/replicatorg-0014/> \
./replicatorg
```

Si todo ha ido bien, ReplicatorG se abrirá, y veremos algo similar a la Figura 5.

Para subir el último firmware, abrimos ReplicatorG y seleccionamos *Machines | Upload New Firmware...* desde el menú. El asistente nos ayudará durante el proceso. Seleccionamos la versión de la placa, versión del firmware y el puerto USB, y a continuación pulsamos el botón *Upload* (véase la Figura 6).

Una vez que hemos subido el firmware tanto a la placa madre como a la placa del extrusor, podemos usar ReplicatorG para verificarlo mediante instrucciones sencillas, como mover la plataforma de construcción a lo largo del eje.

Modelos e Impresión

Una vez nuestra impresora esté funcionando y haya sido testeada, queremos empezar a imprimir. La Figura 7 muestra una vista esquemática del proceso de

impresión 3D. El primer paso es obtener un modelo de la información que queremos imprimir. Las tres posibles opciones para obtener información de un modelo a imprimir son:

- Modelar una pieza con un programa de CAD como Art of Illusion (AoI), Google SketchUp o incluso Blender.
- Escanear una pieza con un escáner 3D. Generalmente son escaneos láser que podemos encontrar a partir de 3000 \$.
- Descargar un modelo 3D existente desde la Web. Podemos encontrar toda una variedad de objetos disponibles en diferentes páginas Web, como Thingiverse [12] o TurboSquid [13].

El formato *.stl* (abreviatura de estereolitografía) es el formato de archivo tradicional para la impresión en 3D. Es básicamente una malla de triángulos. Un ejemplo de archivo *.stl* se muestra en el Listado 1. Sin embargo, también podemos usar archivos en otros formatos como *.gts*, *.obj* o *.svg*.

Si estamos interesados en poner en marcha nuestra propia página Web interna para el control de los modelos, intercambio e impresión, puede que nos interese echar un vistazo al proyecto en software libre MakeOne [14], que tiene como objetivo el poder imprimir con un solo clic desde una página Web a través de una red.

Conversión a un Plan de Construcción con Skeinforge

Una vez tenemos el archivo de las piezas que queremos, necesitamos convertirlo a las instrucciones específicas para la máquina, lo que se denomina plan de construcción. El plan de construcción define paso a paso las instrucciones

```
Loading machine: Cupcake CNC
Loading simulator
Loading driver: replicatorg.drivers.gen3.Sanguino3GDriver
WARNING: RXTX Version mismatch
Jar version = RXTX-2.2pre1
native lib Version = RXTX-2.2pre2
Reset.
Motherboard firmware v2.0
Extruder controller firmware v2.2
Ready to print.
```

Figura 5: Iniciamos ReplicatorG.

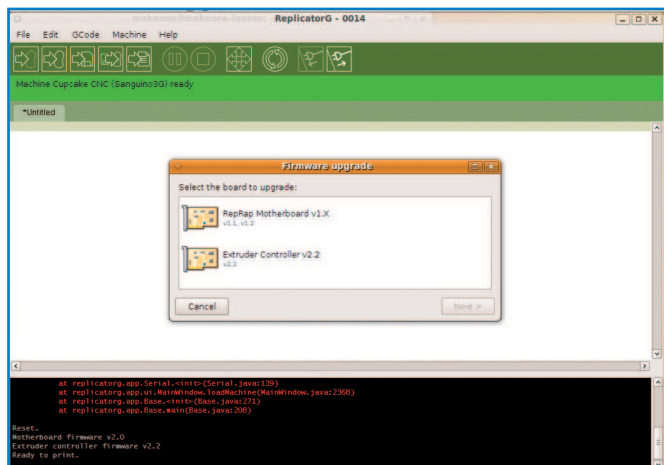


Figura 6: Replicator nos ayuda a actualizar el firmware.

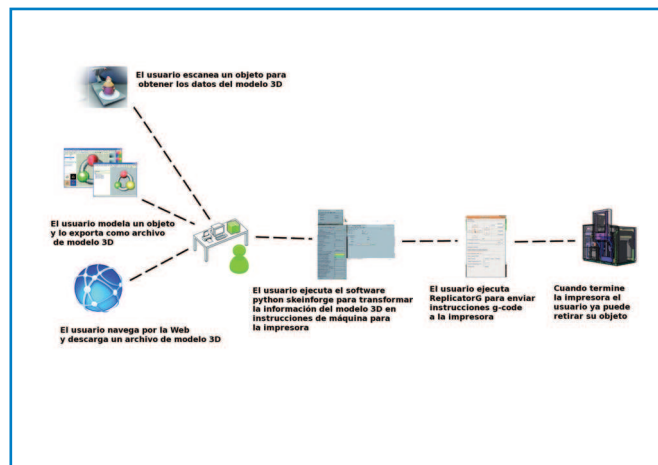


Figura 7: El proceso de impresión en 3D de un vistazo.

mecánicas necesarias para que la impresora 3D ejecute la pieza, lo que incluye cosas como la orientación de la construcción. Por ejemplo, si estamos imprimiendo un rectángulo, la impresora

necesita saber si tiene que construir el lado más largo como ancho o como alto. Otro problema es el tamaño. Muchos formatos como *.svg* y *.stl* no incluyen unidades de medida, por lo que tenemos que

detallar un conjunto de acciones para el plan de construcción. Skeinforge tiene un montón de partes, y puede configurarse para usar ciertos perfiles para máquinas particulares, materiales y procesos de fabricación (por ejemplo, extrusión, fresado, etc.). Eche un vistazo a la documentación de Skeinforge [15], donde encontrará todos los comandos disponibles, o visite la página MakerBot [16] para obtener un buen tutorial sobre la configuración de Skeinforge. Podemos usar Skeinforge (véase la Figura 8) simplemente invocándolo desde la línea de comandos:

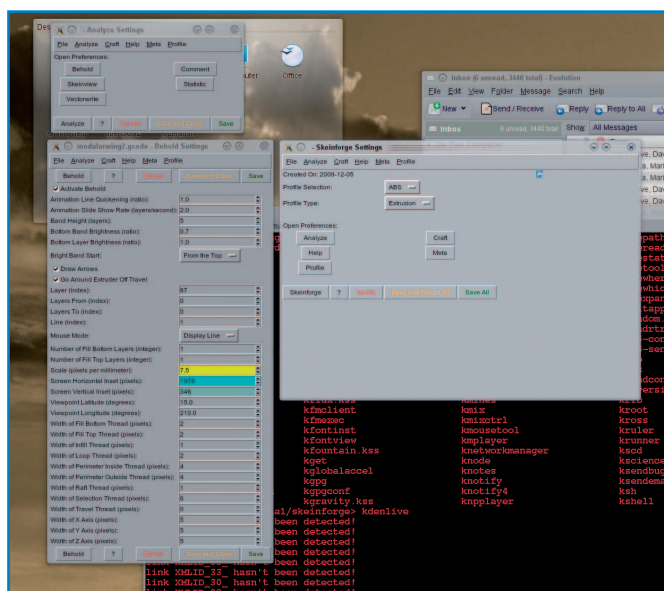


Figura 8: Skeinforge nos ayuda a crear un plan de construcción.

determinar las dimensiones como parte del plan de construcción. Una magnífica herramienta en software libre para ayudarnos con el plan de construcción es Skeinforge, un conjunto de scripts en Python con una interfaz básica Gtk que nos permite llevar a cabo una serie de pasos de traslación en un modelo, desde esculpir áreas internas a

```
/data1/skeinforge> ?
python skeinforge.py
```

Una vez estemos familiarizados con el proceso, probablemente deseemos automatizarlo ejecutándolo mediante toda una variedad de comandos especiales con las opciones disponibles. Incluso si lo invocamos sobre un archivo particular,

```

Listado 1: Código .stl para Tetraedro
01 solid cube_corner ; tetrahedron.stl file definition
02 facet normal 0.0 -1.0 0.0
03 outer loop
04 vertex 0.0 0.0 0.0 ; vertices listed following
  right-hand rule
05 vertex 1.0 0.0 0.0
06 vertex 0.0 0.0 1.0
07 endloop
08 endfacet ; an implicit check is to compute the normal
  from the vertices
09 ; and compare it with the normal listed
10 facet normal 0.0 0.0 -1.0
11 outer loop
12 vertex 0.0 0.0 0.0
13 vertex 0.0 1.0 0.0
14 vertex 1.0 0.0 0.0
15 endloop
16 endfacet
17 facet normal 0.0 0.0 -1.0
18 outer loop
19 vertex 0.0 0.0 0.0
20 vertex 0.0 0.0 1.0
21 vertex 0.0 1.0 0.0
22 endloop
23 endfacet
24 facet normal 0.577 0.577 0.577
25 outer loop
26 vertex 1.0 0.0 0.0
27 vertex 0.0 1.0 0.0
28 vertex 0.0 0.0 1.0
29 endloop
30 endfacet
31 endsolid ; end tetrahedrons.stl
```


SHOPPING LINUX MAGAZINE

En la tienda de Linux Magazine (www.linux-magazine.es/tienda) vendemos revistas y libros que pueden ser de interés a nuestros lectores. Recuerda también que con una suscripción Digital o Club, podrás acceder a las ofertas (www.linux-magazine.es/digital/ofertas) de Linux Magazine donde puedes conseguir software, gadgets, libros y servicios. **Este mes en nuestra tienda...**

Manual LPIC-1

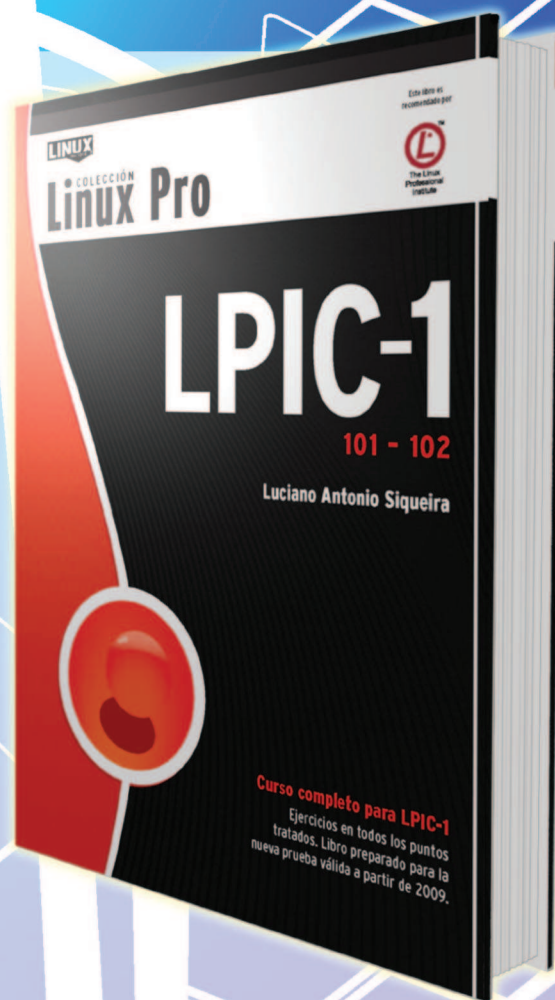
El único manual en castellano para la certificación completa LPIC-1 (exámenes 101 y 102). Más de 250 páginas de ejemplos reales tomados de ambos exámenes explicados en todo detalle con ejercicios para prácticas y sus soluciones.

Preparado para el nuevo programa que entra en vigor a partir del 2009, aprobado y recomendado por LPI International y con la garantía de Linux Magazine.

- "La guía perfecta en castellano para preparar el examen para cualquier persona que tenga conocimientos de Linux."
- "Se ciñe muy bien a los objetivos del nivel 1 de LPI (LPIC-1) actualizados en Abril de este año, cosa que es de agradecer."
- "Un avance muy importante en el desarrollo de los programas de certificación LPI en España."

www.lpi.org.es

Consíguelo en nuestra tienda.



www.linux-magazine.es/tienda

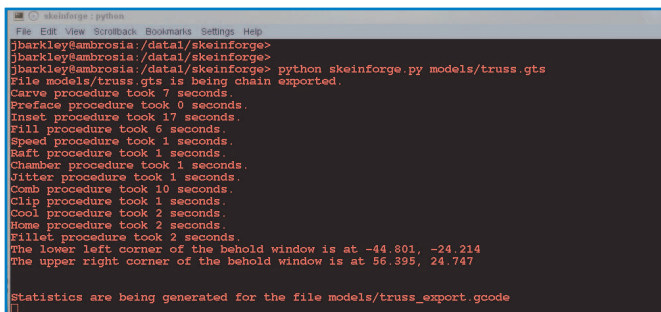


Figura 9: Generación de un conjunto de instrucciones.

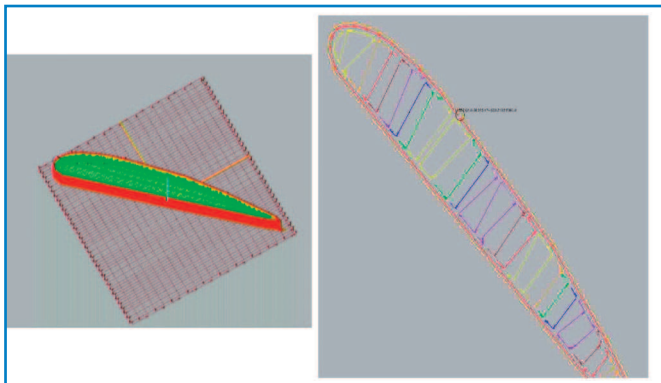


Figura 10: Diagramas 2D y 3D que muestran el plan de construcción de un ala modular.

el comportamiento por defecto es traducirlo a un conjunto de instrucciones automáticamente (véase la Figura 9).

Un ejemplo de plan de construcción para un ala modular tanto en 2D como en 3D se muestra en la Figura 10.

El verdadero plan de construcción para RepRap o CupCake producirá un archivo G-Code [17] [18], que es un conjunto de instrucciones muy sencillas para mecanizado que se ha usado en máquinas CNC. Proporciona instrucciones básicas de una línea para manipular

las coordenadas x , y y z , determinando la velocidad de movimiento y el guiado del cabezal. Se denomina G-Code porque cada instrucción comienza con una G y un número que define una instrucción específica. (En la práctica, se mezclan también M-Codes para manejar funciones de administración, como configurar el ratio de extrusión y la temperatura del cabezal de extrusión).

Podemos editar los archivos G-Code a mano, pero la edición manual se vuelve tediosa rápidamente debido a que hay muchos movimientos precisos x , y y z , en prácticamente cualquier objeto. El Listado 2 muestra un ejemplo de código G-Code. Una vez hemos escrito o generado nuestras instrucciones finales G-Code, las cargamos en ReplicatorG o en el software de la impresora y a imprimir.

Cuidados y Alimentación

Una vez nuestra impresora está en línea e imprimiendo sin problemas, no piense que estará así siempre. Muchas máquinas requieren mantenimiento rutinario y recalibración. Hay muchísimas cosas que pueden ir mal en cualquier momento y, cuando eso ocurra, los foros y los blogs son la mejor apuesta.

Lo más importante: Sea proactivo en tensar las correas alrededor de las poleas y revise periódicamente todas las tuercas y tornillos.

Se puede generar gran cantidad de vibración mecánica al mover el cabezal y la plataforma de construcción. Igualmente, es importante asegurarse de que sabemos con qué material estamos trabajando: Si lo calentamos demasiado, puede quemarse y atascar nuestra boquilla de extrusión (limpiar las boquillas no es para nada divertido). La calibración es también importante, especialmente si hemos movido recientemente nuestra máquina. Si la boquilla extrusora se sitúa 1mm. demasiado cerca de nuestra plataforma, el material puede crear surcos en ella (especialmente con acrílicos). Si la boquilla queda 1mm. más lejos de lo indicado, el material podría enfriarse demasiado rápidamente y no adherirse a la pieza.

RECURSOS

- [1] Espacios Hacker: http://hackerspaces.org/wiki/List_of_Hacker_Spaces
- [2] Impresora CupCake: <http://store.makerbot.com/cupcake-cnc.html>
- [3] Fab@Home: <http://fabathome.org/>
- [4] Proyecto de la impresora RepRap: <http://www.reprap.org>
- [5] Evil Mad Scientist Laboratories: <http://www.evilmadscientist.com/article.php/3printerpreview>
- [6] MakerGear: <http://www.makergear.com/products/plastruder-replacement-parts>
- [7] ReplicatorG y Skeinforge: <http://replicat.org/download>
- [8] Placa madre RepRap: http://reprap.org/wiki/Motherboard_1_2#Burn_the_Bootloader
- [9] LadyAda: <http://www.ladyada.net/make/usbtinyisp/>
- [10] Adafruit Industries: http://www.adafruit.com/index.php?main_page=product_info&products_id=46
- [11] Configuración AVR: <http://www.ladyada.net/learn/avr/setup-unix.html>
- [12] Thingiverse: <http://www.thingiverse.com>
- [13] TurboSquid: <http://turbosquid.com>
- [14] MakeOne: <http://github.com/makeone/makeone>
- [15] Documentación de Skeinforge: <http://www.bitsfrombytes.com/wiki/index.php?title=Skeinforge>
- [16] Tutorial de Skeinforge: <http://wiki.makerbot.com/configuring-skeinforge>
- [17] Artículo sobre G-Code en Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/G-code>
- [18] Wiki en EduTech sobre G-Code: <http://edutechwiki.unige.ch/en/G-code>

Listado 2: Listado G-Code de un Ala Modular

```
01 G90; (absolute programming)
02 G21; (using mm)
03 M103; (turn off extruder)
04 M106; (turn fan on)
05 M108 S210.0; (set extruder speed to S value/10 = 21RPM)
06 M104 S235.0; (set temperature to 235.0 C)
07 G1 X-96.32 Y-0.21 Z0.72 F240.0; (Coordinated motion using linear interpolation to absolute position x,y,z with speed F in mm/minute)
08 absolute position x,y,z with speed F in mm/minute)
09 M101
10 G1 X-96.32 Y95.68 Z0.72 F240.0
11 G1 X-96.06 Y95.93 Z0.72 F240.0
12 G1 X-91.77 Y95.93 Z0.72 F240.0
13 G1 X-91.52 Y95.68 Z0.72 F240.0
14 G1 X-91.52 Y0.04 Z0.72 F240.0
15 G1 X-91.26 Y-0.21 Z0.72 F240.0
16 ...
```