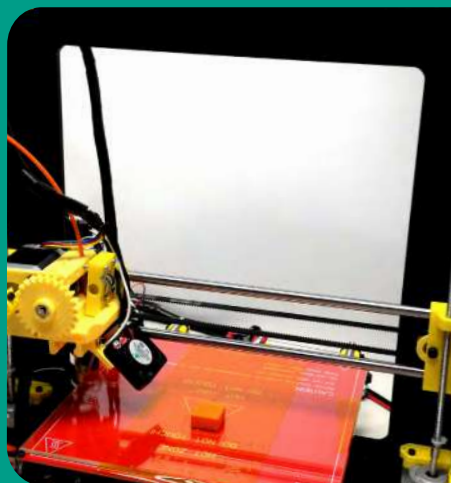




DISEÑO E IMPRESIÓN DE OBJETOS 3D

Una guía de apoyo a escuelas

**Fernando Bordignon,
Alejandro A. Iglesias
y Ángela Hahn**

Diseño e impresión de objetos 3D

Diseño e impresión de objetos 3D

Una guía de apoyo a escuelas

Fernando Bordignon, Alejandro A. Iglesias y Ángela Hahn

Bordignon, Fernando
Diseño e impresión de objetos 3D: una guía de apoyo a escuelas / Fernando Bordignon;
Alejandro Adrián Iglesias; Ángela Hahn. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires:
UNIPE: Editorial Universitaria, 2018.
Libro digital, PDF - (Herramientas. Serie TIC; 3)
Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-3805-35-6
1. Nuevas Tecnologías. 2. Innovación Tecnológica. 3. Inclusión Digital. I. Iglesias, Alejandro
Adrián II. Hahn, Ángela III. Título CDD 372.358

UNIPE: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

Adrián Cannellotto

Rector

Carlos G.A. Rodríguez

Vicerrector

UNIPE: EDITORIAL UNIVERSITARIA

María Teresa D'Meza

Directora editorial

Juan Manuel Bordón

Editor

Natalia Ciucci

Diseño y diagramación

Paraguay 1255 (C1057AAS)

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

www.unipe.edu.ar

COLECCIÓN HERRAMIENTAS SERIE TIC

© Fernando Bordignon, Alejandro A. Iglesias y Ángela Hahn

© De la presente edición, UNIPE: Editorial Universitaria, 2018

Paraguay 1255 - (C1057AAS)

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

www.unipe.edu.ar

Consultas o sugerencias: editorial.universitaria@unipe.edu.ar



Salvo que se indique lo contrario, las imágenes utilizadas en este libro se reproducen bajo licencias Creative Commons.

Se permite la reproducción parcial o total, el almacenamiento o la transmisión de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, siempre que:

- se reconozca la autoría de la obra original y se mencione el crédito bibliográfico de la siguiente forma: Bordignon, Fernando; Iglesias, Alejandro A. y Hahn, Ángela, *Diseño e impresión de objetos 3D. Una guía de apoyo a escuelas*, Buenos Aires, UNIPE: Editorial Universitaria, 2018;
- no se modifique el contenido de los textos;
- el uso del material o sus derivados tenga fines no comerciales;
- se mantenga esta nota en la obra derivada.

Esta edición se publicó en el mes de octubre de 2018.

ISBN 978-987-3805-35-6

Agradecimientos

A las autoridades de la Universidad Pedagógica (UNIPE), por confiar en nuestro proyecto y darnos el apoyo necesario para concretarlo.

A todos los profesores y jóvenes que participaron del espacio de trabajo y reflexión que se constituyó en la ciudades de Lobos y Escobar. Gracias a sus enriquecedores aportes pudimos completar esta obra y también darle gran parte del sentido que tiene.

Al licenciado Mariano Fontao, de la UNIPE, quien realizó todas las gestiones necesarias para obtener fondos externos y poder llevar a cabo la donación de tres impresoras 3D a escuelas secundarias técnicas.

Finalmente, y de forma especial, queremos agradecer a los profesores Víctor Furci y Oscar Trinidad, de la UNIPE, con quienes compartimos momentos muy buenos de aprendizaje y camaradería.

Fernando Bordignon, Alejandro Adrián Iglesias y Ángela Hahn

Índice

ACERCA DE ESTE LIBRO	11
CAPÍTULO 1. Fabricación digital y prácticas <i>maker</i>	13
1.1. Ámbitos de la fabricación digital	16
1.2. Microempresas basadas en procesos de diseño y fabricación digital	20
1.3. El diseño y la fabricación digital como espacios de experimentación personal	22
1.4. La fabricación digital y el ciudadano <i>maker</i>	24
1.5. Prácticas <i>maker</i> para mejorar la fluidez digital	29
1.6. Diseño, fabricación digital y prácticas <i>maker</i> en escuelas secundarias	31
CAPÍTULO 2. La impresión 3D	33
2.1. Introducción a la impresión 3D	33
2.2. Tecnologías de impresión	34
2.2.1. Estereolitografía	35
2.2.2. PolyJet	36
2.2.3. Sinterizado láser selectivo	36
2.2.4. Modelado por deposición fundida	37
2.3. Materiales de impresión	38
CAPÍTULO 3. Impresoras 3D por deposición fundida	43
3.1. Los orígenes: el proyecto RepRap	43
3.2. El <i>open source</i> en hardware y software	45
3.3. Arquitectura básica de una impresora 3D	46
3.4. Uso y promoción en Argentina	50
CAPÍTULO 4. Materialización de objetos con una impresora 3D	53
4.1. Diseño 3D	54
4.2. <i>Slicing</i>	56
4.2.1. Estructuras auxiliares	57
4.2.2. Relleno	58
4.2.3. Softwares de <i>slicing</i>	59
4.2.4. Configuración básica de un <i>licer</i>	60
4.3. Puesta a punto	61
4.3.1. Nivelación de la cama	63
4.3.2. Preparación de la base	63
4.4. Técnicas de posprocesado	64

CAPÍTULO 5. Prácticas en diseño 3D e impresión de objetos	65
5.1. Proyecto en Tinkercad	65
5.1.1. Registro	65
5.1.2. Primeros pasos	66
5.1.3. Un ejemplo de proyecto	70
5.1.4. Desafíos	73
5.2. Proyecto en OpenSCAD	75
5.2.1. Instalación	75
5.2.2. Primeros pasos	76
5.2.3. Un proyecto simple: gancho	80
5.2.4. Un proyecto paramétrico: taza	84
5.2.5. Otro proyecto paramétrico: portalápices	93
5.2.6. Desafíos OpenSCAD	95
 CAPÍTULO 6. La impresión 3D en las aulas	 97
6.1. Experiencias en diseño e impresión 3D	98
6.2. ¿Por qué incorporar una impresora 3D al aula?	99
6.3. Puente entre asignaturas	100
6.4. Armar tus propias máquinas	101
6.5. Consideraciones finales	102
 WEBGRAFÍA COMENTADA	 103
 BIBLIOGRAFÍA	 105
 CRÉDITOS DE IMÁGENES	 109
 SOBRE LOS AUTORES	 113

Acerca de este libro

En los últimos tiempos, a partir del desarrollo acelerado de las tecnologías digitales, un nuevo panorama favorable se ha constituido en relación a los procesos de fabricación digital de objetos. La reducción de los costos y tamaños de los equipamientos e insumos, el desarrollo creciente de programas y de hardware en modo *open source* (código abierto) y la importante comunidad mundial virtual que se viene forjando en torno al tema son algunos elementos que dan cuenta de tal realidad.

A partir de una inversión reducida de dinero, es posible que los establecimientos educativos argentinos puedan incorporar algunos elementos relacionados con el diseño y la fabricación digital, ya sea adquiriendo equipos armados o sencillamente partes de ellos, para ensamblarlos luego en las aulas.

En el sentido planteado, este texto se constituye como una guía de apoyo a instituciones que incorporan o desean incorporar procesos de impresión 3D a las prácticas educativas. Nuestra idea es presentar la tecnología como una oportunidad para desarrollar saberes y habilidades que estén en función de mejorar la capacidad de expresión y de creación de los estudiantes. Una máquina, en sí, puede ser un recurso atractivo y motivador para los jóvenes pero no el centro del problema educativo.

Estamos ante una sociedad inmersa en una alta dinámica de cambios, los cuales nos generan incertidumbre y, en parte, nos pueden agobiar. La única certeza es que una educación sostenida, que acompañe a nuestros niños y jóvenes de manera apropiada –para interactuar con esta configuración particular de la sociedad, donde lo digital tiene un papel clave– será la mejor garantía de un futuro posible.

Fabricación digital y prácticas *maker*

El niño va a la escuela para hacer cosas
[...] y en este contexto, y como consecuencia
de esos actos, se articulan los estudios:
lectura, escritura, cálculo, etcétera.
JOHN DEWEY (1972: 245)*

Desde que existe la posibilidad de obtener copias digitales de objetos, o incluso crear nuevos objetos desde una pantalla, se ha abierto un nuevo campo en el desarrollo y la fabricación de productos. Esto ha sido potenciado por una generación de máquinas operadas por computadoras, inicialmente conocidas como tecnologías de control numérico computarizado (CNC). En los últimos años, este tipo de tecnología se ha expandido y ha llegado a otras clases de usuarios, desde pequeñas y medianas empresas a grupos de aficionados, e incluso a los garajes de algunos ciudadanos.

Existe un ambiente tecnológico favorable para la expansión de una economía basada en la fabricación digital. La facilidad de digitalizar productos, la existencia de nuevos formatos abiertos de representación digital y de nuevas máquinas de producción a bajo costo son factores determinantes de este fenómeno. Pero el elemento central que lidera este posible cambio en los modos de producción es la facilidad para transformar objetos físicos en datos y datos en objetos físicos.

Otros factores que han posibilitado tal expansión son la existencia de un movimiento de hardware libre (el cual aportó máquinas de fabricación digital de bajo costo), la abundancia de información y apoyo técnico en la red, el establecimiento de comunidades de personas en torno a estas prácticas y la posibilidad de que, en un futuro cercano, estas acciones puedan ser lucrativas. Este modelo ofrece, de alguna manera, una oportunidad de negocios alternativa al modelo industrial: posibilita la personalización de diseños y de objetos. Además, modifica los esquemas de logística, relocalizando los centros de fabricación en sitios cercanos a los puntos de consumo. Las tecnologías que están detrás de este nuevo modelo de producción se agrupan en tres áreas (Fundación Telefónica, 2014: 26-35):

* Las traducciones del inglés de esta y otras citas fueron hechas por los autores del libro. [N. de E.]

a) Digitalización: el principal cambio o evolución en torno a la digitalización se produce cuando los usuarios comunes comienzan a incorporar estas herramientas, un paso facilitado por la proliferación de software distribuido bajo la modalidad de código abierto. [OpenSCAD](#), [Blender](#) o [Parametric Parts](#) son ejemplos de programas para el diseño y la representación de objetos 3D. Las herramientas de captura de datos o de escaneado también han avanzado de forma importante los últimos años. Cuentan con interfaces más simples que pueden ser utilizadas por personas que no son necesariamente profesionales en el tema. Plataformas para escanear de uso doméstico –como [Matter and Form](#)– se consiguen por precios razonables para el bolsillo de un particular. También existen otras opciones de digitalización 3D utilizando una secuencia de fotografías comunes.

b) Gestión de objetos en formato digital: los formatos de archivos digitales que representan modelos de objetos son varios. Tradicionalmente se ha utilizado el formato DWG (DraWinG), de la aplicación [Autocad](#), pero han surgido otros como STL (Stereo Lithography), de [3D Systems](#), y AMF (Additive Manufacturing Format), que usa el lenguaje estándar de marcas XML.

c) Producción: existen dos categorías de máquinas de fabricación digital. Las de *tecnología aditiva* son las que añaden capas de material hasta construir un objeto (por ejemplo ciertos tipos de impresora 3D), mientras que las de *tecnología sustractiva* operan en base a retirar material (por ejemplo una fresadora o *router* para trabajos en madera, o un torno).

Lo disruptivo de esta forma de diseñar y fabricar es que los objetos viajan como bits (en formato de diseño) de un lugar a otro, para luego materializarse en el territorio de destino. Es una forma de producción similar a la que desde hace tiempo se aplica en la edición de diarios. Por otra parte, estos nuevos modos de fabricación (más personalizados) están permitiendo salir de diseños rígidos y uniformes (dado que eran de consumo masivo) para generar alternativas flexibles, donde incluso los propios consumidores participan de acuerdo a sus necesidades y gustos.

Las máquinas más habituales en estos espacios de fabricación digital son las siguientes:

a) Impresora 3D: en su modelo más popular, es una máquina de fabricación digital de la categoría aditiva, ya que su modo de funcionamiento se basa en el depósito de varias capas de un insumo –en general plástico– hasta lograr la pieza completa. Opera a través de un inyector de material, que se desplaza en tres dimensiones (X, Y, Z), controlado por un software, el cual usa como patrón de fabricación un modelo 3D.

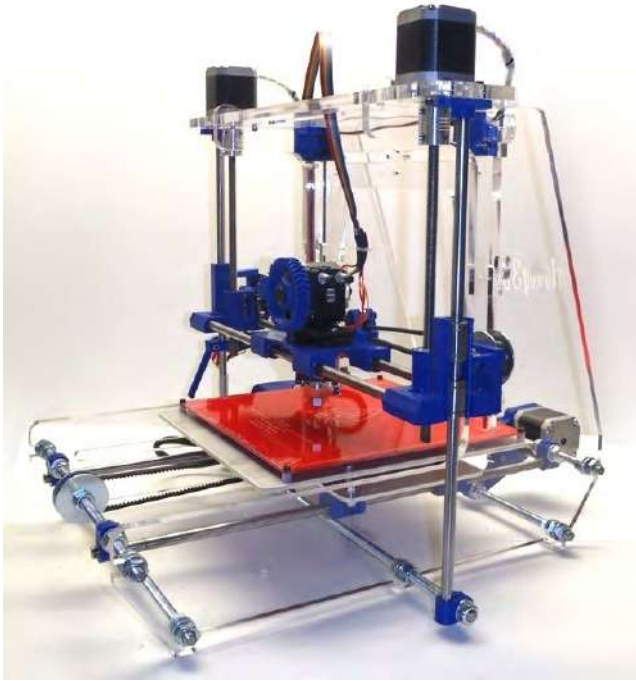


Imagen 1. Impresora 3D

i Para conocer más

Aquí podés ver un video de una impresora 3D modelo Prusa trabajando. En este caso imprime un corazón, conformado por una serie de engranajes. Notá cómo el cabezal va depositando filamento plástico, capa tras capa. Enlace: <www.youtube.com/watch?v=xmQxWsa8zc4>.

b) Cortadora y grabadora láser: máquina que consta de una cama de trabajo sobre la que se desplaza un rayo láser con una potencia tal que le permite grabar o cortar diversos materiales (cuero, plástico, acero, madera) a partir de un diseño digital.

c) Cortadora a chorro de agua: trabaja de la misma forma que una grabadora láser, con la diferencia de que el cabezal emite un chorro muy fino y potente de agua, a alta presión, que es capaz de cortar diversos materiales.

d) Cortadora de vinilo: máquina automatizada que transfiere un diseño en dos dimensiones a un material plástico, mediante un cabezal que tiene asociado un cúter o cortante. En general, su aplicación está relacionada con la publicidad, dado que se usa para el armado de anuncios.

e) Router CNC: en su forma básica, es una fresadora de mano o *router* montado sobre un cabezal que se desplaza sobre una cama de trabajo. Al material allí depositado se lo desgasta, por medio de una fresa, según órdenes derivadas de la aplicación de un diseño digital.

f) Escáner 3D: es una herramienta de suma utilidad en espacios de fabricación digital. Permite captar la forma física (en tres dimensiones) de un objeto y generar un modelo digital del mismo, el cual puede ser intervenido y adaptado para su materialización, por ejemplo, en una impresora 3D.

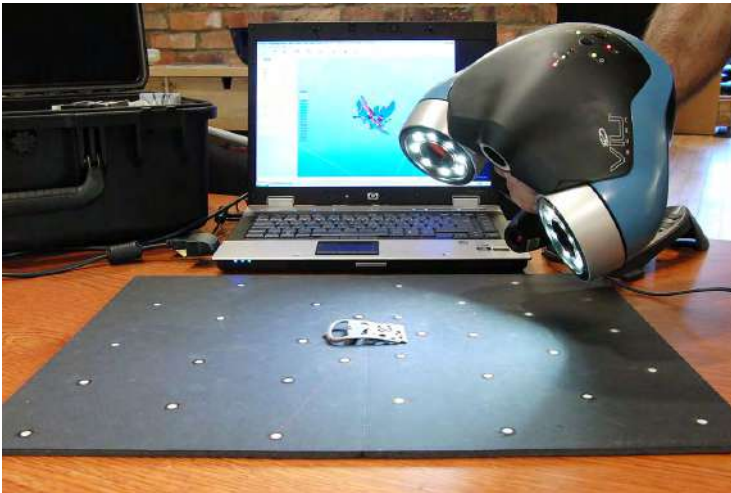


Imagen 2. Escáner 3D capturando la forma de una pieza

1.1. ÁMBITOS DE LA FABRICACIÓN DIGITAL

Las aplicaciones de la fabricación digital son diversas y se dan en distintos ámbitos, por ejemplo:

a) Armado de prototipos y maquetas: es una aplicación que ha crecido con la aparición de máquinas personales de fabricación digital. Combinando materiales y diversos artefactos es posible realizar modelos de objetos de una forma rápida, económica y flexible, características acordes a unos ciclos más cortos de creación y comercialización de productos.

b) Objetos personalizados: hoy es posible construir objetos en pequeñas cantidades de manera rentable. Esto representa una ventaja en sí mismo, dado que permite realizar productos únicos, exclusivos y personalizados. Se puede pensar, incluso, como una posible evolución del método artesanal. De hecho, ya ha empezado a funcionar un mercado floreciente

de negocios de fabricación digital, donde los usuarios le envían los archivos con los diseños a empresas que proveen servicios de materialización (por ejemplo, los prestados por las empresas [Ponoko](#) y [Fine Laser Cut](#)).

c) Partes o mecanismos: esta manera alternativa de fabricación puede cambiar la forma en que se diseñan los objetos complejos, en especial aquellos que tradicionalmente contienen muchas partes (Imágenes 3 y 4), dado que ahora se puede pensar en modelos donde las partes aisladas se reduzcan al mínimo. Esto redundará en piezas más sólidas y con menos costos de ensamblado.

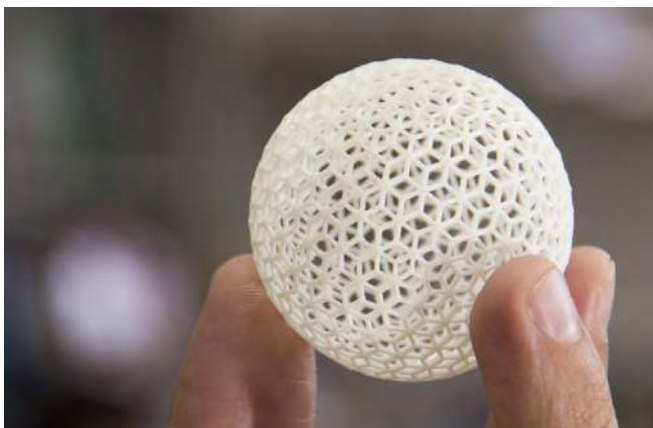


Imagen 3. Impresión 3D de una pelota diseñada a partir de una trama compleja

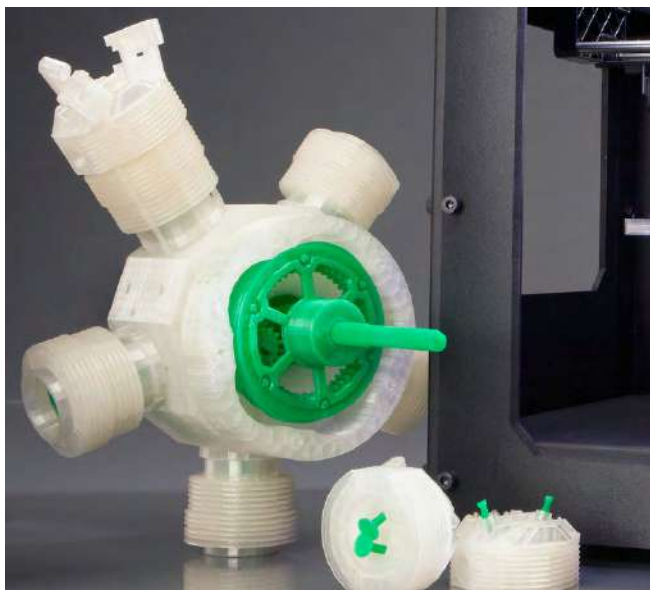


Imagen 4. Prototipo de un motor realizado por una impresora 3D

d) Objetos híbridos: incorporan dispositivos electrónicos que amplían significativamente sus prestaciones, al permitir que las piezas materializadas “cobren vida” por medio de hardware y software añadido al esqueleto. Esta clase de objetos está estrechamente vinculada con el movimiento *open hardware*, que aboga por la democratización de nuevos diseños de plataformas de computación ([Arduino](#), [Raspberry](#)) y artefactos electrónicos (motores, sensores, actuadores, etc.) al alentar a la gente para que los intervenga. En esta línea, por ejemplo, la empresa [Adafruit](#), fundada por Limor Fried, ingeniera del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), ofrece kits y componentes de bajo costo para el desarrollo de sistemas electrónicos. Su estrategia es acercarse al sector educativo, tanto formal como informal.



Imagen 5. Robot con esqueleto fabricado en una impresora 3D

e) Mantenimiento: a partir de los planos digitales de los componentes de un objeto, será posible fabricarlos *in situ* y por demanda en el caso que se desgasten o se rompan. Esto permitiría darle una mayor vida útil a los objetos, evitando una espiral desmedida de obsolescencia. Un ejemplo de esta situación se da con ciertas partes plásticas de algunas versiones de impresoras 3D, que el mismo usuario puede imprimir en caso de necesitarlas.

Existe una amplia gama de sectores que se apropian de la tecnología de fabricación digital. A continuación, contamos una serie de casos de uso:

a) Diseño: se abren importantes oportunidades para que las personas puedan intervenir directamente sobre el diseño de objetos, en una suerte de contracorriente a los diseños industriales masivos y uniformes. De hecho, los ciudadanos ya disponen de una amplia gama de softwares libres y servicios en línea para asistirlos en este tipo de tareas. También existen bibliotecas públicas de partes o de diseños completos sobre los cuales pueden practicar operaciones de remezcla. Además, hay comunidades de pares que, gracias a la red, están al alcance de la mano. El panorama se completa con un abanico de máquinas hogareñas de fabricación o, en su defecto, servicios remotos de fabricación de piezas a los que se puede acceder por internet. Estos factores, combinados, promueven un ambiente creativo donde los particulares pueden desenvolverse plenamente y donde se abren posibilidades para nuevos mercados de diseño. Dicho fenómeno empieza

a verse en sitios de exposición de trabajos de aficionados, por ejemplo [Shapeways](#) o [Thingiverse](#). Un ejemplo de cómo los usuarios pueden intervenir en el desarrollo de los productos físicos que consumen es el que ofrece la empresa [Nervous System](#) (objetos de joyería), una plataforma orientada al diseño avanzado mediante algoritmos paramétricos o generativos. El sitio en línea permite a los compradores configurar diversas opciones que determinan la forma final del producto que van a adquirir.

b) Medicina: si bien desde hace años se viene utilizando esta tecnología en el área de la ortodoncia, hoy se abre un panorama más amplio. La empresa Oxford Performance Materials ([OPM](#)), bajo la marca OsteoFab, ha creado materiales y herramientas que permiten diseñar implantes de cráneo adaptables a las necesidades de cada caso. Por otro lado, también se utiliza la reproducción física en plástico de partes del cuerpo, a partir de casos reales de estudio, para poder observar los detalles de mejor forma y planificar intervenciones. Incluso en el área biológica se están desarrollando tintas *bio-ink*, compuestas por células vivas (generalmente, células madre), que podrían dar pie a la construcción de órganos y, eventualmente, su implantación en organismos (Fundación Telefónica, 2014: 58-59). En esta línea, la empresa [Organovo](#) ya ha hecho experiencias vinculadas con la construcción de vasos sanguíneos.

c) Construcción de viviendas: la arquitectura tiene en su base el diseño y, por ende, estas tecnologías se aplican a la creación de prototipos y maquetas. Ahora es fácil pasar de un modelo digital de edificio a una maqueta física construida por una máquina de fabricación automatizada. Esta forma de proyectar permite mayor flexibilidad en los diseños, dado que los cambios estructurales, ya sean por estética u otros motivos, pueden ser representados de una manera rápida y económica. Más allá de la etapa de planificación, también se está explorando el uso de técnicas aditivas de fabricación aplicadas a la construcción de casas y edificios. El sistema robotizado [D-Shape](#), por ejemplo, permite edificar utilizando mezcla de concreto como insumo. En China, la empresa [Winsun](#) ha realizado experiencias demostrativas de construcción de casas con impresoras 3D de gran porte.

d) Industria en general: es el ámbito natural donde creció y se afianzó la fabricación digital. Si bien en sus orígenes fue casi propiedad exclusiva de la industria aeroespacial, y luego de la automotriz, más tarde se expandió por otras áreas. Las principales implicaciones de esta tecnología en el mundo industrial son las siguientes: surgimiento de un modelo de distribución digital de productos y de fabricación local; investigación de nuevos materiales; desarrollo de nuevos procedimientos de fabricación y ensamblado; cambios en los procedimientos de almacenamiento; resignificación de la fabricación según demanda; aplicación de modelos de innovación y necesidad creciente de personal capacitado en nuevas tecnologías.

1.2. MICROEMPRESAS BASADAS EN PROCESOS DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DIGITAL

La fabricación digital a nivel personal se considera una práctica casera o de garaje. Cualquier persona con conocimientos técnicos y cierta maquinaria básica puede montar su propio proyecto en un espacio reducido. En cuanto al perfil comercial, también existe la posibilidad de que las instalaciones sean menores. Tan solo es necesario un espacio para diseño, administración y comunicaciones, dado que existen servicios prestados por terceros para la materialización (empresas como Shapeways y Adafruit realizan procesos de fabricación digital por encargo y devuelven las piezas terminadas por correo). Esta clase de compañía opera bajo un nuevo modelo, denominado “producción en la nube”, donde una vez digitalizado un producto se puede enviar directamente a instalaciones remotas para su fabricación. Así, el proceso de trabajo digital toma un importante rasgo de flexibilidad, ventaja frente a las economías basadas en el modelo de producción tradicional.

Un tema central es la financiación de esta nueva clase de proyectos, dado que las personas –o las pequeñas asociaciones– que están detrás no suelen tener capital suficiente, ni capacidad de crédito, para afrontar todos los gastos derivados de un emprendimiento. Una modalidad de financiación alternativa en este contexto es el *crowdfunding* o micromecenazgo, donde el altruismo, las ganas y las posibilidades de colaborar económicamente son la base para promover proyectos de terceros. Esta modalidad se lleva adelante en internet, por medio de plataformas especiales de servicio en las que los particulares deciden qué proyectos apoyar, con cuánto dinero y, en algunos casos, qué beneficios obtendrán en caso de ser exitosos (Rivera Butzbach, 2012). En general, si los aportes de los micromecenazgos no llegan a sumar el mínimo necesario para poner el proyecto en marcha, se realiza una devolución del dinero invertido.

La financiación solidaria es una alternativa incipiente a los modelos tradicionales de inversión a nivel global. Los emprendedores que deciden buscar apoyo económico de esta manera tienen que demostrar que su proyecto es rentable y original. Al respecto, el informe de la Fundación Telefónica (2014: 14) indica que “entre los diversos beneficios de este modelo destacan tres: el emprendedor se financia sin tener que pagar intereses, el producto es testado de forma gratuita y también existe un fenómeno de marketing gratuito”. Por otro lado, estos modelos siguen evolucionando hasta el punto de que “permiten convertir en accionistas de la empresa a aquellas personas que financian un proyecto, en lo que se ha venido a denominar *equity crowdfunding*” (ibíd.).

Esta forma de trabajo, basada en contribuciones de particulares y apoyada en sistemas de micropagos en línea, es simple y directa. Con una serie mínima de clics ya se puede ver plasmado un aporte de recursos para ayudar a llevar adelante una iniciativa. El modelo no es exclusivo de los proyectos de diseño digital, también ha sido utilizado por la industria del entretenimiento, institu-

ciones no gubernamentales y artistas. En relación con las posibles recompensas a cambio de contribuciones económicas, existen dos clases: a) promoción de la persona que hizo el aporte, por ejemplo mediante menciones públicas en la prensa, en los créditos de una obra o en los afiches de publicidad; b) por entrega a la persona de un servicio o un bien derivado del proyecto, por ejemplo las primeras unidades fabricadas a precios diferenciales, abonos exclusivos para asistir a la presentación de una obra, créditos de uso de un servicio a precios acomodados, etcétera.

Dentro de las múltiples plataformas de *crowdfunding* se destaca [Kickstarter](#), un servicio en línea donde las personas presentan ideas que otros pueden apoyar con una inversión económica. Posee una importante trayectoria en financiación de iniciativas de todo tipo, desde películas independientes, videojuegos, obras musicales y contenidos periodísticos, hasta diseños de proyectos de hardware. Según datos de mediados de 2018,¹ a través de Kickstarter se han financiado más de 145.000 proyectos por casi 3.800 millones de dólares. Para dimensionar las posibilidades del servicio, basta observar que un proyecto llegó a recaudar más de diez millones de dólares. Este fue el caso de [Pebble E-Paper Watch](#), un reloj inteligente que se vincula con celulares. Otros sitios de servicios semejantes son [Quirky](#), [Verkami](#) o [Indiegogo](#).

Latinoamérica también dispone de una plataforma de *crowdfunding*, el sitio [idea.me](#), con presencia en Argentina, Chile y México. En este caso, se les asigna a los emprendedores un espacio en una plataforma web mediante el cual pueden presentar sus ideas a un público masivo y anónimo. Por citar un ejemplo, el actor argentino Alfredo Casero (Blanco, 2012) utilizó la plataforma mencionada para financiar la producción de su película *Cha3Dmubi*. La experiencia fue buena, recaudó más de 26.000 dólares a partir del apoyo de más de setecientos usuarios. A cambio, los mecenas recibieron entradas anticipadas, *merchandising*, una cena con el actor o una mención en los créditos de la película. Como se puede ver, este financiamiento colectivo implica que de alguna manera se reduzca la brecha existente entre un inventor y un emprendedor. Además, rompe con la forma tradicional de obtener capitales. Donde antes había pocos inversores con mucho dinero, ahora hay muchos inversores con aportes individuales más pequeños.

También hay varias formas de utilizar internet como plataforma para la comercialización de los productos que construyen estos emprendedores. La empresa Ponoko, por ejemplo, presta servicios a usuarios que quieran fabricar en modo digital. Desde su portal se puede diseñar un producto (con un set de herramientas en línea), luego enviar el diseño para su materialización y, por último, ponerlo a la venta en el portal comercial de esa plataforma. Otro caso es el de Quirky, que a través de su plataforma en línea ofrece soporte a lo largo de todo el proceso que transforma una idea en un producto.

1. Datos suministrados por la propia plataforma. Ver: <www.kickstarter.com/help/stats>. [Consulta: 13 de mayo de 2018]

1.3. EL DISEÑO Y LA FABRICACIÓN DIGITAL COMO ESPACIOS DE EXPERIMENTACIÓN PERSONAL

En el desarrollo de la civilización podemos distinguir tres etapas asociadas al trabajo productivo del hombre. La primera está vinculada con la extracción y recolección de recursos de la tierra; la segunda, con la invención de las máquinas; la tercera, en la que nos encontramos actualmente, es la era de la información, que se caracteriza por la automatización de las máquinas de procesamiento de datos y de la producción de todo tipo de bienes y servicios.

Como ocurrió algunos siglos atrás, con la Revolución Industrial, estos avances están produciendo una serie de beneficios y desarrollos en la calidad de vida de los ciudadanos. Si en aquel período las mejoras estuvieron ligadas al democratizar el acceso a objetos y a servicios a partir de la producción mecánica a escala de elementos iguales, ahora las tecnologías digitales proponen dar un paso más: que los ciudadanos comunes puedan personalizar esos objetos y servicios requeridos.

En las últimas décadas hubo una serie de importantes desarrollos relacionados con la aparición de máquinas que fabrican objetos a partir de diseños digitales y, al momento de la producción, son dirigidas completamente por computadoras. A esta generación de máquinas, originalmente restringidas a las grandes industrias, se la conoce como tecnología de control numérico computarizado (CNC).

En un primer momento, los diseñadores tomaron máquinas existentes, manejadas por operarios, y vieron la posibilidad de automatizar algunas de sus tareas (Gershenfeld, 2012). Así, se remodelaron tornos, fresadoras o máquinas de corte en función de un automatismo mayor a la hora de producir. Luego, en un segundo momento, se empezaron a diseñar máquinas que se concebían automatizadas desde su origen. En esta línea surgieron, por ejemplo, las impresoras 3D y los *routers* (o ruteadores) de grabación y corte por luz láser. La primera generación de máquinas solo se dedicaba a cortar, agujerear o desbastar el material (fabricación sustractiva). En la siguiente generación, la fabricación automatizada por control numérico dio un salto significativo y a partir de 1980 se implementó la fabricación aditiva, que consiste en agregar material en lugar de retirarlo. La impresión 3D pertenece a la categoría mencionada, dado que deposita material para construir los objetos.

Más allá de las formas de trabajo de las máquinas, para el profesor Neil Gershenfeld (2012), director del Center for Bits and Atoms (Centro para los bits y los átomos) del MIT, la revolución que se ha producido se basa en la capacidad de convertir datos en cosas y cosas en datos. Ahora los bienes ya no viajan necesariamente en su forma final o definitiva, pueden circular como diseños o archivos de instrucciones, y que el objeto se materialice en el mismo destino o cerca de él. Estamos ante la posibilidad de que cada ciudadano sea un diseñador, un creador y un fabricante de sus propias ideas y a partir de sus necesidades.



Imagen 6. El cabezal de una impresora 3D, depositando material plástico sobre una pieza

Si sabemos leer y escribir los códigos apropiados, en entornos de fabricación digital basta con imaginar algo para que lo podamos hacer realidad por nuestra cuenta. En este sentido, Chris Anderson (2013), editor de la revista *Wired*, opina que la distancia entre un inventor y un emprendedor se ha acortado significativamente y ya apenas existe. Tradicionalmente, el sistema económico ha limitado nuestras capacidades creativas al hacerse cargo del diseño y la fabricación de casi todo lo que consumimos. Es tiempo de resignificar un mundo dividido entre los que producen y los que consumen para pasar a un nuevo estado donde las personas tomen el rol de *prosumidores*.

En general, los diseños de estos objetos digitales se realizan de forma colaborativa. El ya mencionado sitio Thingiverse, creado en 2008, logró reunir tan solo en sus primeros cinco años archivos con más de cien mil diseños para todo tipo de objetos bajo licencias libres, lo cual permite usarlos, modificarlos y compartirlos (Aledo Sánchez, 2013). Las oportunidades que se abren con este tipo de sitios son muy importantes, dado que los diseños se deslocalizan y se diseminan por el mundo. Por ejemplo, está el caso de dos jóvenes argentinos que en 2014 fabricaron una prótesis de mano para un niño. El prototipo inicial fue tomado de un proyecto basado en una licencia abierta, cuyos planos estaban alojados en Thingiverse. Así consiguieron reemplazar una prótesis valuada en unos 40.000 dólares por otra que costó 2.000 pesos argentinos (*iProfesional*, 2014).

En torno a la fabricación digital existe un conjunto de personas, empresas, organizaciones civiles, universidades, colectivos de emprendedores o inventores que apuesta por su desarrollo. Las opiniones van desde las de aquellos que creen que estamos frente a una nueva revolución industrial, hasta posturas más radicales que afirman que es el fin de una economía regida y regulada por

la producción masiva realizada por pocos. Otros también ven en ellas el inicio de nuevas formas de democratización del conocimiento, así como el sostén para procesos de fabricación más sustentables (Lukin, 2014). Evidentemente, en un futuro cercano la fabricación digital tendrá grandes implicancias en el trabajo y en los modos de consumo de las personas.

1.4. LA FABRICACIÓN DIGITAL Y EL CIUDADANO *MAKER*

El término *Do It Yourself!* (DIY)² es atribuido a Jerry Rubin, un ex líder del movimiento *hippie* estadounidense. En su rol de activista de la contracultura, fue el autor de un libro que se convirtió en un manifiesto de época, *Do it!: Scenarios of the Revolution*, publicado en 1970. La idea era propagar el anticonsumo y este eslogan fue el símbolo de tal lucha. Décadas después, y de alguna manera ligado a aquella forma de ver el mundo, surge el término *maker*. Fue aportado por Dale Dougherty, cofundador de la editorial O'Reilly Media, al crear en 2005 la revista *Make*. Inicialmente, *Make* fue una publicación trimestral que trataba sobre proyectos de tipo “hacelo vos mismo” y estaba dirigida a personas con intereses cercanos a la filosofía del aprender haciendo, del reciclado y del compartir experiencias entre pares. Una vez lanzada, la revista ayudó a que el movimiento *maker* creciera rápidamente. Ese mismo año, *Make* comenzó a organizar en Estados Unidos las *Maker Faires*, una serie de ferias en las que los seguidores de este colectivo mostraban proyectos de trabajo y se relacionaban entre ellos.

En el sitio web *Hacedores* se hace referencia a que un *maker* es “alguien que extrae identidad y significado del acto de la creación”, y que, a la vez, le da un valor importante a las tecnologías digitales:

lo que distingue a los *makers* contemporáneos de los inventores y de los “DIYers” de otras épocas, es el increíble poder que les brindan las tecnologías modernas y una economía globalizada [...] para conectarse y aprender, y como un medio de producción y distribución (*Hacedores*, 2014).

Esta nueva variante de artesanado en base a hardware y software reduce el tiempo de aprendizaje necesario para utilizar las herramientas de diseño y producción, ya que cada día son más sencillas y hay mayor información y soporte disponibles de manera instantánea. De alguna manera, este fenómeno está relacionado con la democratización de la tecnología, en particular la que permite modelar y fabricar. En este sentido, el espacio web es a la vez el vehículo y el campo de tal democratización.

Por lo expuesto, es indudable que la tecnología digital ha dado un nuevo impulso a comunidades del tipo “hacelo vos mismo”, que las ha renovado, conec-

2. Su traducción al castellano sería “hacelo vos mismo”.

tado y ampliado significativamente. Son varios los factores que convergieron para que se presente esta situación: uno ha sido la aparición de herramientas digitales de diseño y de fabricación (en especial las de código abierto); otro, el establecimiento de una red mundial digital donde las personas pueden colaborar de distintas maneras, ya sea compartiendo diseños, aportando capital a nuevos proyectos, respondiendo dudas, resolviendo problemas o trabajando en proyectos de coautoría; un tercer factor es la posibilidad de tener proyectos exitosos en términos comerciales en un ambiente de trabajo más reducido que los tradicionales (los que eran reservados a grandes empresas y a inversiones fuertes), en buena parte gracias a nuevos modelos de fabricación a escala y también de financiamiento, como el *crowdfunding*.

El movimiento *maker* se basa en el autoaprendizaje, en diseñar y hacer cosas significativas a partir de un interés particular, en compartir las experiencias para que otros pares puedan recrearlas y mejorarlas. En la actualidad, el colectivo integra la tecnología digital a sus experiencias de creación mediante proyectos que combinan diseños abiertos, software y hardware libres. Estos modelos de “cultura del hacer” implican una propuesta de reapropiación en pos de un uso crítico de la tecnología. También incorporan a lo lúdico como parte del trabajo, ya que cada proyecto es tomado como un desafío. Por otra parte, implementan una forma de enseñanza y de aprendizaje alternativa a la existente (basada en “sentarse, escuchar y ejercitar”), dado que ellos proponen “sentarse, pensar, hacer y compartir” como un nuevo modo de construir conocimientos.

El vínculo de los *makers* con las pantallas, por todo esto, va mucho más allá de ser simples usuarios. Las integran y resignifican como máquinas para inventar cosas. De hecho, los colectivos *maker* no se definen en función de lo que compran o consumen, sino de lo que son capaces de expresar o de crear. Sus acciones están marcando una evolución de la ética *hacker*,³ la cual se basa en interpelar nuestro propio mundo, al tener una actitud abierta a intervenir críticamente lo dado y tratar de mejorarlo o expandirlo a nuevos usos propios. Este proceder apunta a que los ciudadanos recuperen cierto poder y autonomía frente a una cultura consumista dominante.

Los colectivos *maker* funcionan como centros de investigación comunitaria guiados por sus propias necesidades e intereses. El aprender por demanda y no solo por oferta es parte de su modo de ser. En estos espacios se trabaja en función de pensar, primero, qué se desea construir, y luego aprender lo necesario para lograr esos objetivos. Lo lúdico siempre está presente y es parte de los procesos de aprendizaje; también la cultura colaborativa. Los lugares donde estos colectivos se reúnen suelen ser ambientes reducidos dedicados al diseño y a la fabricación de prototipos abiertos a la comunidad. El pago para ser incorporado como miembro, en los casos en que se requiere, es mínimo y generalmente sirve para mantener actualizados los equipos y reponer insumos.

3. Originalmente planteada por el sociólogo Pekka Himanen en su libro *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información* (2002).

The Maker Movement Manifesto (El manifiesto del movimiento *maker*), libro de Mark Hatch publicado originalmente en 2013 en lengua inglesa, es una declaración pública que muestra cuál es la filosofía y cuáles los principios que rigen a este movimiento. A la vez, sirve de guía para ayudar a definir de forma precisa qué es parte del mismo y qué no. Los nueve puntos centrales del documento son los siguientes:

1) Hací	Diseñar, prototipar, crear y fabricar son actividades fundamentales para el ser humano. Son formas de expresión y de comunicarnos con nuestro entorno.
2) Compartí	No se puede hacer sin compartir, dado que la esencia del movimiento es la colaboración.
3) Regalá	Es un gesto natural, asociado al compartir.
4) Aprendé	A hacer se aprende y el aprendizaje es continuo, siempre hay nuevas técnicas, materiales, máquinas.
5) Equipate	Invertir en herramientas necesarias para desarrollar la creación debe ser una meta constante.
6) Jugá	Lo lúdico es parte del movimiento <i>maker</i> , es lo que motiva e impulsa cada proyecto.
7) Participá	Ser activo, colaborar con el movimiento <i>maker</i> , ayudar a resolver problemas, codiseñar, acudir a ferias y hacer de mentor son algunas formas de participación activa.
8) Apoyá	El movimiento <i>maker</i> requiere distintos tipos de apoyo: emocional, intelectual, financiero, político e institucional.
9) Cambiá	Perseguir el cambio es una meta permanente.

Como se observa en los puntos anteriores, esta filosofía de intervenir el mundo y hacer cosas a partir de la colaboración efectiva no está nada lejos de los ideales perseguidos por el sistema educativo.

Los colectivos *maker* –como ya se dijo– se reúnen periódicamente en eventos denominados *Maker Faires*, que a grandes rasgos son ferias de innovadores. Allí, estos inventores muestran descubrimientos, nuevas aplicaciones, tendencias en diseño y fabricación digital. Básicamente, constituyen un espacio donde la gente muestra lo que está haciendo y a la vez comparte lo que está aprendiendo. En estos eventos la gente se informa, se entretiene y se vincula creciendo en comunidad. El primer *Maker Faire* fue en 2006 en San Mateo, California. Esta feria anual, actualmente la más grande del mundo, llegó en 2017 a su duodécima edición, en la que tuvo alrededor de 125.000 visitantes y se presentaron cerca de mil doscientos proyectos. En América Latina, el sitio Hackerspaces.org da cuenta de la existencia más de ciento veinte espacios *maker* en la región, sobre más de mil setecientos registrados en el mundo.

Además, existen otros ámbitos de diseño y fabricación digital como los denominados fab-labs (acrónimo de *fabrication laboratory*): son un concepto que nace a principios del siglo XXI, cuando se crea el Center for Bits and Atoms (CBA) en el Media Lab del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Fue el profesor Neil Gershenfeld, en su rol de director, quien tuvo la idea de establecer una red de laboratorios abiertos, dotados con máquinas automáticas de fabricación de objetos manejadas por computadoras, para que cualquier ciudadano, tras una capacitación básica, pudiera utilizarlas en actividades propias. El espíritu de esos laboratorios fue experimentar en proyectos de fabricación personal y producción original a baja escala. En diciembre de 2003, un equipo del CBA instaló el primer fab-lab externo en el South End Technology Center (SETC), ubicado en el centro de Boston. En el año 2014, la red de fab-labs del CBA contaba con más de ciento cincuenta espacios distribuidos alrededor del mundo, en más de treinta y cinco países.

Cada fab-lab de esta red posee las siguientes características: a) es abierto al público y sus costos de uso asociados son muy bajos; b) se ajusta a las normas del *Fab Charter*, un documento donde se explica de manera breve todo lo que se necesita saber para trabajar en un fab-lab; c) dispone de un conjunto de herramientas y procesos en común; d) contribuye y coopera con otros fab-labs.

Por otra parte, el MIT ofrece un programa de apoyo académico y anualmente imparte cursos de formación en fabricación digital con títulos de grado y posgrado. Para ello se utiliza el campus virtual [Fab Academy](http://FabAcademy). Los proyectos que se realizan son de dominio público, para beneficio de una comunidad y, además, se pretende que el aprendizaje sea evolutivo y mejorable a partir del intercambio de experiencias y creaciones. El equipamiento básico de un fab-lab coincide con el de casi cualquier otro taller de fabricación digital: incluye cortadoras láser (para el desarrollo de objetos 3D a partir de piezas 2D), fresadoras CNC, cortadoras de vinilo automatizadas, impresoras 3D y escáneres 3D.

No hay un modelo único de fab-lab sino que se adaptan a las condiciones particulares de cada comunidad. Pueden tener una gestión pública o privada; ser básicos o especializarse en arquitectura o diseño industrial, por ejemplo. Para formar parte de la red oficial del MIT solo han de cumplirse las condiciones antes descritas, que son el núcleo de la filosofía fab-lab.

A los efectos de dar un apoyo estatal fuerte a proyectos de promoción de fab-labs, desde 2013 el congresista estadounidense Bill Foster viene proponiendo una ley para crear una red nacional de laboratorios. Esta acción ha ido en sintonía con una campaña nacional de promoción de los procesos de fabricación avanzada en Estados Unidos. El proyecto contempla la instalación de laboratorios de fabricación digital a disposición de los ciudadanos de todo el país, espacios donde niños y adultos puedan inventar y fabricar sus propios productos. Según la visión del autor de la iniciativa, esos laboratorios ayudarían a los estudiantes a desarrollar las habilidades que necesitan para tener éxito en la economía global de hoy en día. El objetivo es lograr armar esa red nacional de fab-labs y que haya al menos uno por cada setecientos mil habitantes. La legislación no prevee la financiación de la red, sino que se limita a proporcionarle al programa el reconocimiento necesario para que se establezcan estos centros. En los considerandos del proyecto (Foster, 2013) se resalta que los descubrimientos científicos y la innovación técnica son críticos para el desarrollo económico, y que para mantener el liderazgo de Estados Unidos en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas se requerirá una población con acceso a las herramientas apropiadas y con habilidades para usarlas. Además, indica que los desarrollos esperados de la tecnología digital permitirán que cualquier persona haga casi cualquier cosa en cualquier lugar.

En España, en la ciudad de Barcelona, el Ayuntamiento ha desarrollado el proyecto **Fab City** como una suerte de respuesta a los problemas de desempleo, en particular los que afectan a la juventud. Para ello, se apostó como política pública por la instalación de fab-labs en cada distrito para que estos sirvan como red de apoyo a microemprendimientos que requieran de tecnologías de fabricación digital. El objetivo, a largo plazo, es que la ciudad pueda emprender un camino para lograr independencia en consumos y un mayor compromiso de sus ciudadanos. Además, otras ciudades como Boston, París o Detroit se han sumado a este proyecto.

En Argentina se puede destacar el caso del fab-lab de la Universidad Nacional de Lanús, denominado **MingaLab**. El término *minga* es de origen quechua y significa “reunión de amigos y vecinos para hacer algún trabajo gratuito en común”. Este espacio, abierto a toda la comunidad universitaria, lo conforma un grupo de estudiantes y docentes. Funciona en el taller de modelos de la Licenciatura en Diseño Industrial, donde se entrelazan actividades académicas, investigaciones y desarrollos personales. Cuenta con herramientas como una fresadora CNC, una máquina de prototipado rápido en plástico, escáneres 3D, software de CAD/CAM, plóteres y herramientas manuales complementarias. Desde el año 2012, este espacio forma parte de la Asociación Internacional de fab-labs.

1.5. PRÁCTICAS *MAKER* PARA MEJORAR LA FLUIDEZ DIGITAL

Según el profesor Mitchel Resnick (2001), del MIT, la baja del costo de acceso a las tecnologías digitales las ha hecho accesibles para las personas comunes. Su uso atraviesa diversas clases sociales, países y culturas. De alguna manera esto ha reducido la brecha digital, relacionada con el acceso a esas tecnologías, pero todavía no se ven los efectos de una apropiación en pos de empoderar a los usuarios y que no solo sean consumidores de servicios por caminos prefijados por las empresas.

Hablar de fluidez digital implica un compromiso más profundo con los conocimientos y las habilidades adquiridas, ir más allá de usos simples, tales como buscar información, usar un procesador de textos, una planilla de cálculo o un chat, o enviar mensajes de texto. Para explicar este concepto se suele utilizar la analogía con el aprendizaje de una lengua extranjera. Supongamos que una persona aprende ciertas palabras básicas del italiano que le permiten hacerse entender en situaciones comunes de viaje. Ese turista estará en condiciones de comprar algo, solicitar indicaciones para llegar a una dirección o incluso pedir el menú en un restaurante. Sin embargo, si va a Roma no estará en condiciones de establecer relaciones profundas con los ciudadanos ni con la cultura, dado que su comprensión y habla son bastante limitadas, para nada fluidas. Tampoco podrá leer el diario con intensidad, ni entender plenamente lo que se dice en la radio o en la televisión, ni conversar intercambiando opiniones personales.

Cuando aplicamos este concepto en el contexto de las computadoras, pasa lo mismo. Poseer fluidez digital implica conocimientos que están más allá de saber cómo se usa, ya que también requiere entender cómo construir cosas significativas. En palabras de Resnick (2002: 33):

La fluidez de un lenguaje no solo tiene un gran valor utilitario en la vida diaria sino que también tiene un efecto catalizador sobre el aprendizaje. Cuando se aprende a leer y a escribir, se está en una mejor posición para aprender muchas otras cosas. Sucede lo mismo con la fluidez digital. En los años venideros, la fluidez digital será un prerrequisito para obtener trabajos, participar significativamente en la sociedad y aprender a lo largo de toda la vida.

En una apuesta superadora del concepto de sociedad del conocimiento, Resnick propone un próximo estadio denominado “sociedad de la creatividad”, en función de que el éxito no dependerá de cuánto sabemos, sino de nuestra capacidad para pensar y actuar creativamente. Por lo tanto, en un intento por integrar los conceptos anteriores, podríamos decir que dada la penetración, uso y dependencia de las pantallas múltiples en la sociedad, debemos “valorar la fluidez computacional tanto como valoramos la lectura y la escritura” (Resnick, 2001: 145). Es posible identificar varios métodos de enseñanza y de aprendizaje que suelen aplicarse o construirse naturalmente en los colectivos *maker*. Uno de ellos, basado en el diseño y la construcción de objetos

significativos por parte de los aprendices, es el denominado “espiral” del pensamiento creativo (Resnick, 2007). Esta estrategia de aprendizaje se centra en trabajar sobre un ciclo en el que los estudiantes imaginan lo que desean hacer, crean un proyecto basado en sus propias ideas, juegan con sus creaciones, las comparten con sus pares y luego reflexionan sobre sus experiencias. Este modelo, a juicio de Resnick, resulta ideal para las necesidades formativas de esta época y, según él, es aplicable a todas las edades.

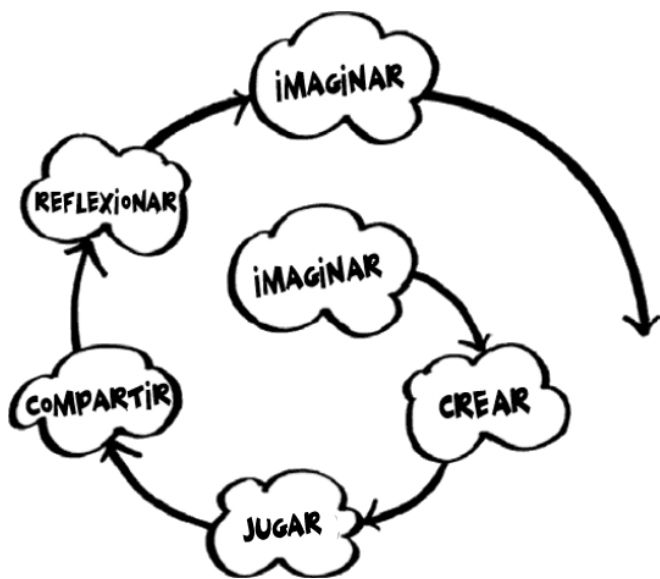


Imagen 7. Espiral del pensamiento creativo

De manera complementaria, Resnick indica que “en una sociedad caracterizada por la incertidumbre y el cambio rápido, la capacidad de pensar creativamente se está convirtiendo en la clave del éxito y de la satisfacción, tanto en lo profesional como en lo personal” (ibíd.). La creatividad a la cual se hace referencia, para su promoción, es la de la “c” minúscula, propia de la vida personal, y para nada la de la “C” mayúscula, que transforma los límites de una disciplina o de un dominio entero. En otras palabras, no se trata de buscar formar genios sino de ayudar a que todas las personas sean más creativas para enfrentarse a sus problemas o situaciones diarias. En el fondo, “las nuevas tecnologías tienen el potencial de ayudar a la gente a desarrollarse como pensadores creativos” (ibíd.).

En los últimos tiempos está emergiendo un nuevo modelo de prácticas de resolución de problemas basado en promover la creatividad y la innovación. El pensamiento de diseño (*design thinking*) está orientado a considerar el proceso de diseño como una forma de pensar (Brown, 2009; Lockwood, 2010). No significa que el objetivo sea darle forma a ideas o creaciones de otros, como generalmente hacen los diseñadores, sino aplicar elementos del diseño en función de resolver problemas y, a la vez, explorar oportunidades de

innovación en cualquier contexto que habilite un enfoque creativo. Desde lo metodológico, implica una serie de fases o etapas: comprender, observar, definir, idear, hacer un prototipo, testear e implementar. Estas etapas se agrupan en varias categorías que van desde la experiencia del usuario a la creatividad, la selección y el diseño final.

1.6. DISEÑO, FABRICACIÓN DIGITAL Y PRÁCTICAS MAKER EN ESCUELAS SECUNDARIAS

El software puede ser considerado como la máquina de vapor de estos tiempos, es un elemento esencial para el desarrollo de la economía y el bienestar de los países. En los próximos años el mundo estará configurado, desarrollado y controlado (en una gran proporción) por programas de computadora, medios digitales y comunicaciones. Aquellos ciudadanos que no posean una serie de aptitudes y saberes que les permitan moverse con cierta libertad de pensamiento y acción en ese entorno, posiblemente constituyan una nueva clase de analfabetos posmodernos. Poder interactuar con la sociedad actual es el centro del problema educativo y, a la vez, la clave para que los ciudadanos se desarrollen de forma plena y se inserten de manera apropiada en el ámbito laboral.

Haciendo una relectura del pensamiento del pedagogo brasileño Paulo Freire, quien hace tiempo propuso superar los esquemas de alfabetización tradicionales, podemos decir que leer y escribir de forma plena para interactuar con nuestro mundo hoy requiere de nuevos saberes entre los que la cultura digital adopta un rol crucial. Hemos integrado, casi sin darnos cuenta, una capa digital en nuestra sociedad analógica.

Como consecuencia de lo anterior, los trabajadores necesitan extender sus habilidades para desempeñarse con éxito en esta nueva configuración socio-técnica y así poder llevar un mayor bienestar a sus territorios de pertenencia. El nuevo entorno digital requiere ciudadanos creativos, con compromiso social, reflexivos, críticos y que además se adapten a una vida laboral y a un futuro inciertos. El mundo ha cambiado sustancialmente pero la educación, en general, sigue teniendo fines y pautas organizativas correspondientes a un estadio anterior. La adaptación a esta nueva configuración requerirá un gran esfuerzo por parte de los actores involucrados. Mientras tanto, tenemos la oportunidad de desarrollarnos como país si ayudamos a reducir los tiempos de reorganización de nuestro sistema educativo.

Una novedad, asociada a lo digital, es la reducción del costo y la escala de las tecnologías a partir de un incremento en la versatilidad y flexibilidad del proceso de fabricación. Esto implica tener herramientas cada vez más accesibles para los usuarios, los diseñadores, las empresas y, por qué no, también para las escuelas. De esta forma, los jóvenes podrán desarrollar conocimientos relacionados con el diseño y la creatividad, adquirir fluidez tecnológica y, a la vez, constituirse en personas empoderadas capaces de interactuar con el mundo que les toca vivir.

El diseño digital proporciona oportunidades para el desarrollo social y económico de los países, dado que puede beneficiar tanto a empresas establecidas como a pequeños emprendedores. Por ello entendemos que los saberes relacionados con la fabricación digital de objetos deben ser incorporados a las prácticas escolares y funcionar como un puente virtuoso hacia nuevas formas de conocimiento. En este contexto, las prácticas de las comunidades *maker* pueden ser de suma utilidad para mejorar las experiencias educativas de los colegios argentinos.

La impresión 3D

La tecnología 3D no es un dispositivo, es un ecosistema que nuclea, alrededor de la experiencia del usuario, servicios, insumos, logística, software, recursos humanos.

JENNIFER LAWTON (INTI, 2013)

2.1. INTRODUCCIÓN A LA IMPRESIÓN 3D

La fabricación digital consiste en materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando para esto una máquina controlada por una computadora. Gracias a este mecanismo se logran varias ventajas, desde mejorar procesos de diseño, obtener piezas personalizadas o reducir costos de producción, hasta fabricar formas complejas que no serían posibles con las tecnologías tradicionales.

En la actualidad no existe una técnica única de impresión, así como tampoco un único tipo de insumo material. Algunas máquinas utilizan tecnología aditiva, por ejemplo las que funden un material plástico o solidifican una resina artificial utilizando un láser; otras, por el contrario, utilizan una técnica sustractiva, como las que realizan esculturas a partir de un bloque macizo. Los materiales de insumo pueden variar desde plásticos a resinas, metales, vidrio, cerámicas o incluso concreto.

Las impresoras 3D suelen clasificarse, según su uso y prestaciones, en domésticas (o de escritorio) e industriales. Sus usos son muy variados, en parte debido a la diversidad de tecnologías y materiales de impresión: se aplican, por ejemplo, a la confección de joyas, vestimenta, muebles, máquinas, alimentos y prótesis. Si bien muchas de estas aplicaciones son mejoras de procesos existentes, también asoman usos más experimentales en áreas como la construcción de casas, la producción de tejidos humanos y la fabricación de repuestos en lugares extremos aislados. Un ejemplo de esto último ocurrió en la Estación Espacial Internacional (NASA, 2014), donde se produjeron los primeros objetos fabricados fuera de la Tierra en búsqueda de alternativas que permitan minimizar la cantidad de viajes espaciales que se realizan y disminuir así costos, tiempos de espera y uso de combustible.

La tecnología digital se utiliza en diferentes instancias del desarrollo de un producto. En la etapa de diseño, por ejemplo, es fundamental la elaboración

de un prototipo para poner a prueba sus dimensiones, su ergonomía y su utilidad práctica. Sin embargo, también avanza su aplicación para la fabricación del producto final gracias a las múltiples ventajas que presenta con respecto a otros procesos de fabricación, especialmente en pequeñas y medianas empresas. Por otra parte, la tecnología de impresión 3D permite fabricar productos personalizados que se ajusten a las necesidades de los usuarios, sin que esto aumente el costo final de la pieza ni requiera una reestructuración o reforma en la máquina que la construye (como sí sucede en la fabricación tradicional). La personalización en masa es una de las principales tendencias que se persiguen en el desarrollo de productos en la actualidad.

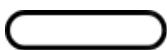
2.2. TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN

Como se ha mencionado anteriormente, existen varios caminos alternativos a la hora de convertir un diseño digital en un objeto físico. Los diversos enfoques se agrupan en las siguientes cuatro técnicas:



ADITIVAS

Se basan en la superposición de un material, capa a capa, hasta llegar a la forma final de la pieza.



SUSTRACTIVAS

Son las que, a partir de un bloque sólido de material, extraen el exceso para dar forma a la pieza final. Por su funcionamiento existe un gran número de morfologías que no es posible realizar con esta técnica (por ejemplo, piezas monolíticas huecas).



POR CONFORMADO

A través de una serie de transformaciones sobre el material, este se modela en función de la forma buscada utilizando fuerza y moldes.



HÍBRIDAS

Combinan dos o más de estas tecnologías. Por ejemplo, adoptan la adición de capas de material, a las cuales luego se les sustraen las partes inútiles.

La fabricación aditiva es una de las técnicas más populares en la actualidad y también una de las más versátiles. Permite elaborar prácticamente cualquier objeto, sin importar su geometría, a partir de la deposición de material capa por capa (Zahera, 2012).

Existe un conjunto de características que distinguen a las tecnologías aditivas y que le confieren ventajas competitivas frente a cualquier otro proceso de fabricación industrial. Una de ellas es la posibilidad de conseguir piezas cuya complejidad geométrica es independiente del costo: esto facilita la materialización de objetos que posean diferentes espesores, curvas pronunciadas, formas irregulares e incluso ahuecados. Este tipo de fabricación engloba, a su vez, una serie de técnicas que enumeraremos a continuación.

2.2.1. Estereolitografía

La estereolitografía o SLA, también conocida como fabricación óptica, basa su funcionamiento en fotopolímeros en un estado líquido viscoso que son capaces de cambiar a un estado sólido mediante la exposición a la luz. Sobre un recipiente lleno de este fotopolímero, situado encima de una plataforma, se ubica un láser que se va desplazando sobre el líquido siguiendo la forma del objeto a reproducir y consiguiendo que la resina pase de estado líquido a sólido. Cuando el láser termina de recorrer toda la superficie de una capa, un pistón hace descender la plataforma una distancia igual al grosor de la siguiente capa y se repite el proceso hasta terminar totalmente la pieza (INTI, 2009a).

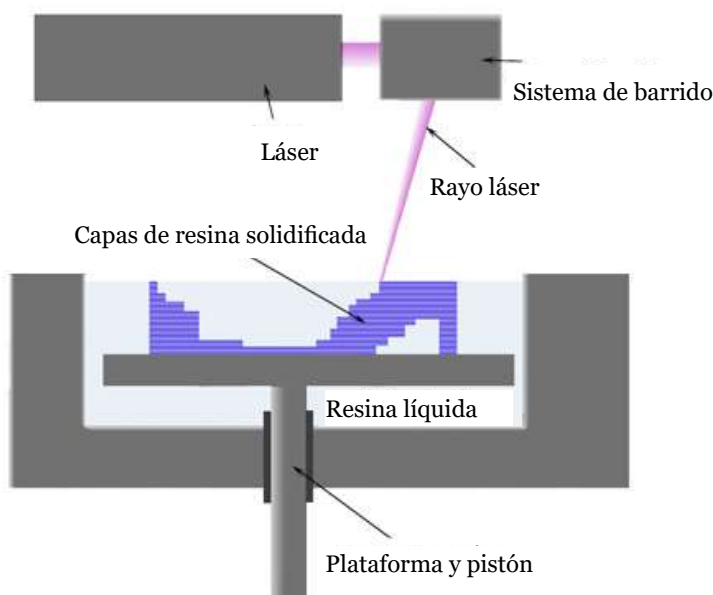


Imagen 1. Esquema de un aparato de estereolitografía

Una vez finalizado el proceso, se eleva la pieza para que escurra el excedente. Para el acabado final se la somete a un baño de luz intensa en una caja parecida a un horno, llamada aparato de poscurado (*Post Curing Apparatus* o PCA). Esto le permite tener propiedades adecuadas para procesos posteriores como el lijado, el arenado, el pintado, etc. Las piezas realizadas con esta técnica tienen un gran terminado estético.

Para conocer más

Este video muestra cómo, a partir de un modelo digital de un objeto (una persona en este caso), se materializa una pieza por el método de estereolitografía. El haz láser se encarga de poner rígido el fotopolímero, proyectándose sobre aquellos puntos *x*, *y* indicados por el programa. Enlace: <www.youtube.com/watch?v=IbOIIId7DAM4>.

2.2.2. PolyJet

La impresión 3D PolyJet es similar a la impresión por inyección de tinta de documentos solo que, en lugar de pulverizar tinta encima un papel, genera una serie de capas de un fotopolímero líquido (que al instante cura con luz UV, para pasar a un estado sólido), y esas capas terminan por conformar el objeto. Cuando el modelo diseñado presenta geometrías complejas, la impresora 3D también adiciona un gel que actúa como soporte para la pieza y que luego se elimina manualmente o lavándolo con agua.

Los sistemas PolyJet más avanzados permiten combinar diversos materiales de impresión en un modelo. Esto significa que el usuario puede seleccionar múltiples materiales para un mismo prototipo e incluso combinar dos o tres materiales para crear compuestos con propiedades distintas. Las impresoras más complejas permiten combinar hasta media docena de materiales diferentes en una misma estructura.

Entre los ejemplos de materiales PolyJet se incluyen el ABS, los materiales de alta resistencia que imitan vidrio o cristal, los fotopolímeros opacos rígidos, los materiales flexibles similares al caucho y los polímeros biocompatibles, utilizados para prototipos médicos o quirúrgicos.

2.2.3. Sinterizado láser selectivo

La sinterización selectiva por láser (SLS) es otra técnica de prototipado rápido que fabrica las piezas por capas. El material de base es un polvo –hecho de diferentes materiales– cuyas partículas miden casi cincuenta micromilímetros. Un láser sinteriza las partículas de las áreas seleccionadas, causando que estas

se fusionen y solidifiquen. El modo de generación de las piezas es muy similar al de la estereolitografía, solo que en lugar de una resina se utiliza este polvo como insumo.

El láser fusiona el material en una cubeta mediante el barrido de finas capas transversales. Una vez que la capa se forma, la cubeta de polvo desciende una distancia equivalente al espesor de la capa formada y una nueva capa de material base es añadida a la superficie. El proceso se repite tantas veces como capas se necesite fundir para crear el objeto tridimensional (INTI, 2009b).

Las piezas terminadas tendrán una densidad que depende más de la potencia pico del láser que del tiempo de exposición. Un equipo SLS usa un láser de pulso y precalienta el polvo base en la cubeta a una temperatura ligeramente inferior a la de fusión de dicho material. De esta forma, hace que la fusión del material por calentamiento sea más sencilla.

Al contrario que en otros procesos de fabricación por adición, como la estereolitografía y el modelado por deposición fundida (que se explicará a continuación), en este no se necesitan soportes ya que la parte sinterizada está todo el tiempo rodeada de polvo sin sinterizar que actúa de apoyo. Esto le confiere una ventaja sobre los otros métodos.

Para conocer más

Este video muestra cómo, a partir de un modelo digital de un objeto, se realiza la materialización de una pieza por el método de sinterizado. Enlace: <www.youtube.com/watch?v=7ExrQZ9Z7BM>.

2.2.4. Modelado por deposición fundida

El modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés) también utiliza una técnica aditiva: un filamento plástico o metálico es introducido en una boquilla o extrusor que cuenta con una resistencia que emite calor hasta llegar por encima de la temperatura de fusión del material. El extrusor tiene además, un mecanismo que permite controlar el flujo de material que vierte. Con la ayuda de motores y elementos mecánicos controlados electrónicamente, se producen los desplazamientos en los ejes X, Y, Z.

En este sistema deben agregarse estructuras de soporte para las geometrías, ya que el material fundido demora en volver a solidificarse y, sin un lugar donde apoyarse, termina deformándose por efecto de la gravedad. Dichos soportes deben ser diseñados de forma tal que utilicen la menor cantidad de insumo y sean fáciles de retirar. Una vez finalizado el proceso, la pieza se somete a tratamientos superficiales (pulidos, lijados) para terminar el proceso de fabricación digital. En la actualidad, esta modalidad de impresión es la que implica equipos de menor costo y, por ello, será la que más atención reciba en este libro (INTI, 2009c).

2.3. MATERIALES DE IMPRESIÓN

Existe una gran variedad de insumos que pueden ser utilizados en la impresión aditiva por deposición de material. Esto permite una mayor flexibilidad a la hora de producir objetos. A los insumos que utilizan estas impresoras se los denomina filamentos y hay de dos diámetros estándar: 1,75 y 3 mm.

También existe una gran diversidad de colores (incluidos los fosforescentes) y propiedades que, por ejemplo, aportan flexibilidad o resistencia. Algunos materiales incluso son capaces de conducir electricidad y formar circuitos. Los productos que se destacan en este ámbito son los filamentos de plástico ABS y PLA. Si bien ambas opciones son válidas para la mayoría de proyectos, la elección del tipo de plástico a utilizar dependerá de la funcionalidad del producto final.

ABS: es la sigla en inglés de acrilonitrilo butadieno estireno, un termoplástico derivado del petróleo muy común en todo tipo de productos, por ejemplo las piezas de LEGO. Sus principales características son:

- **Resistencia al calor:** comienza a fundirse a partir de 190 °C. La temperatura de extrusión recomendada es de entre 220 y 250 °C. Temperatura de cama: 100 °C.
- **Rigidez:** el ABS es resistente y fuerte. Aun así, tiene cierta flexibilidad, lo que permite un buen acabado y lo vuelve apropiado para realizar encastres.
- **Colores y opacidad:** variedad de colores e incluso alternativas transparentes.
- **Adecuado para:** productos o piezas que se sometan a altas temperaturas o que requieran tratamiento posterior (pintura, lijado, pulido, etcétera).

PLA: es la sigla, también en inglés, de ácido poliláctico, un plástico biodegradable derivado del almidón que está ganando popularidad en el mercado doméstico gracias a algunas características que lo diferencian del tradicional plástico ABS:

- **Emisión de olores:** no emite olores tan fuertes como el ABS, lo que lo hace ideal para espacios cerrados o poco ventilados.
- **Temperatura de cama:** alrededor de 60 °C. Se recomienda 70 °C para piezas finas.
- **Temperatura del extrusor:** 180-230 °C.
- **Ecológico:** el PLA es un plástico biodegradable.

- **Rapidez:** la impresión con este material es más rápida y consume hasta un treinta por ciento menos de electricidad que si se utiliza ABS (debido a su menor temperatura de fusión).
- **Resistencia al calor:** escasa, comienza a fundirse a partir de 60 °C.
- **Rigidez:** el PLA no tiene la flexibilidad del ABS. Sufre menos deformación en la impresión de piezas grandes, pero no se puede lijar o taladrar sin que se quiebre.
- **Colores y opacidad:** el PLA tiene una gama de colores más diversa que el ABS, existen variantes traslúcidas o que brillan en la oscuridad. Los colores son algo más apagados que en el plástico ABS.
- **Adecuado para:** todo tipo de productos o piezas, especialmente aquellas que requieran una gran dureza pero que no vayan a estar sometidas a altas temperaturas.

Existen, además, otros filamentos menos populares que pueden brindar una solución para aplicaciones específicas:

Material	Características
HIPS: polímero termoplástico muy utilizado. Es similar al ABS, por lo que algunos lo emplean como soporte.	Temperatura de impresión: 210-260 °C Ventajas: firme y resistente al calor. Se puede lijar y pintar con acrílico. Desventajas: la exposición a la luz UV vuelve frágiles las estructuras impresas con este material. No es soluble en vapor de acetona.
PVA: alcohol polivinílico, una gran opción para usar como material de soporte ya que es soluble en agua tibia, acilitando su remoción.	Temperatura de impresión: 170-195 °C Ventajas: soluble al agua, buena adherencia a materiales como el ABS y el PLA. Desventajas: se recomienda no superar los 200 °C.
PET: tereftalato de polietileno, comúnmente usado en botellas y recipientes plásticos.	Temperatura de impresión: 210-220 °C Ventajas: gran capacidad de cristalización, puede generar piezas transparentes, es fuerte y resistente a los impactos. Desventajas: para que sea transparente hay que extruirlo a más de 245 °C, pero los extrusores comunes no funcionan correctamente a esa temperatura.

LayBrick-Sandstone: hecho a base de tiza blanca y polímeros para unión. Es ideal para lograr una terminación similar a la piedra.	Temperatura de impresión: 165-210 °C Ventajas: terminación suave que no se asemeja a los plásticos. Se usa para objetos de gran tamaño, permite un buen lijado y pintado posterior. Tiene muy poca deformación. Desventajas: no es tan flexible como otros filamentos.
LayWood-D3: es un compuesto de madera reciclada y polímeros que, al enfriarse, adquiere una textura, un color y un olor similar a la madera (ver Imagen 2).	Temperatura de impresión: 175-250 °C. La variación de temperatura afecta al color. Para color claro, 185 °C. Para color oscuro, 230 °C. Ventajas: es un material rígido y permite hacer diseños con un acabado similar al de la madera. Desventajas: puede tapar el extrusor. La madera se quema y se carboniza.



Imagen 2. *Pallet* en miniatura impreso con material LayWood

Estos son solo algunos de los materiales existentes. Sin embargo, esta lista es muy pequeña comparada con la cantidad de filamentos disponibles en el mercado e, incluso, con la de aquellos aún en desarrollo. Hace algunos años,

por ejemplo, los investigadores del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) lograron generar un insumo para impresión de piezas tridimensionales a partir de envases de plástico de descarte. El desecho de botellas de PET es una de las principales problemáticas ambientales actuales, no solo por el volumen de residuo generado diariamente sino también por la lenta degradación del material, que no es biodegradable. En un futuro, su implementación podría sustituir la importación de las materias primas que se utilizan actualmente en esta industria, favoreciendo no solo al desarrollo nacional sino también al cuidado del medioambiente (NTS, 2015).

Impresoras 3D por deposición fundida

3.1. LOS ORÍGENES: EL PROYECTO REPRAP

La impresión 3D no es una tecnología completamente nueva, pero sí una tecnología con una historia reciente, breve y compleja, que aún está experimentando grandes avances. Nació con el objetivo de facilitar y acelerar la producción de prototipos, acortando la brecha de tiempo entre la creación de un diseño digital y su materialización en un objeto físico que pueda ser puesto a prueba. Acelerar este proceso creativo todavía significa, para muchas empresas, estar un paso delante de sus competidores, poder conquistar nuevos mercados o innovar en los ya establecidos.

Las primeras máquinas que desarrollaron esta tecnología se crearon a mediados de la década de 1980. En 1986, Z Corporation patentó los primeros ejemplos de impresoras que usaban estereolitografía. Años después, Scott Crump, el cofundador de la empresa Stratasys, registró la patente del método de impresión por deposición de material fundido (FDM), que hoy es uno de los métodos más populares. A partir de ese momento, se comenzaron a crear empresas para satisfacer la creciente demanda por parte de organismos privados –e incluso universidades– que destinaban dicho equipamiento a sus laboratorios de investigación y desarrollo. Los costos de las máquinas y de los insumos utilizados para la impresión 3D continuaban siendo muy altos. Además, un puñado de empresas concentraba las patentes, protegiendo la propiedad intelectual de los diseños de las diferentes técnicas de impresión 3D, y de sus insumos.

En 2005, el entonces estudiante de doctorado Adrian Bowyer creó el proyecto [RepRap](#). Este proyecto consistía en diseñar una impresora 3D de código abierto y autorreplicante para así abaratar los costos de este equipamiento, democratizar el acceso al mismo y abrirlo a la innovación pública. Su idea generó interés inmediatamente, en especial entre hobbistas, y en 2008 se fabricó el primer modelo: la impresora Darwin (Imagen 1), cuyo diseño incluía las partes mecánicas, electrónicas, el firmware y el software necesario para utilizarla. Tan solo un año después apareció el modelo Mendel (2), más maduro y fácil de ensamblar. Al mismo tiempo, Bowyer colaboraba con la fundación

de la empresa MakerBot, responsable de la venta y distribución de kits para el armado de impresoras 3D de bajo costo.

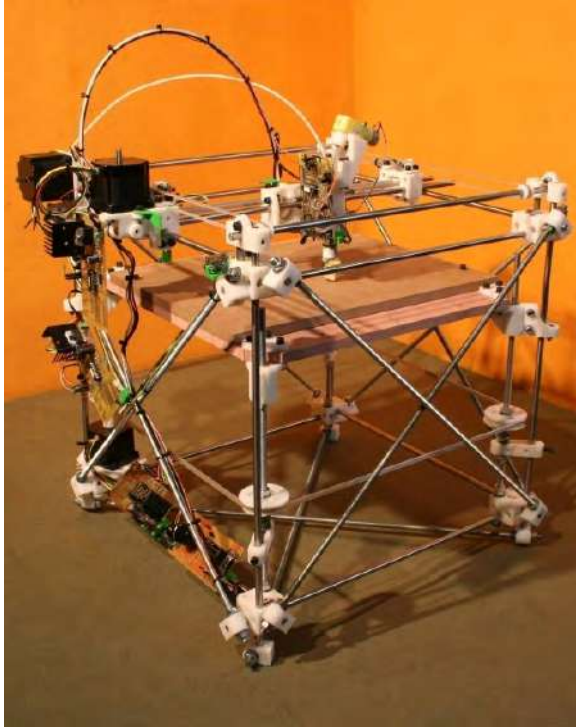


Imagen 1. Darwin, la primera impresora 3D autorreplicante

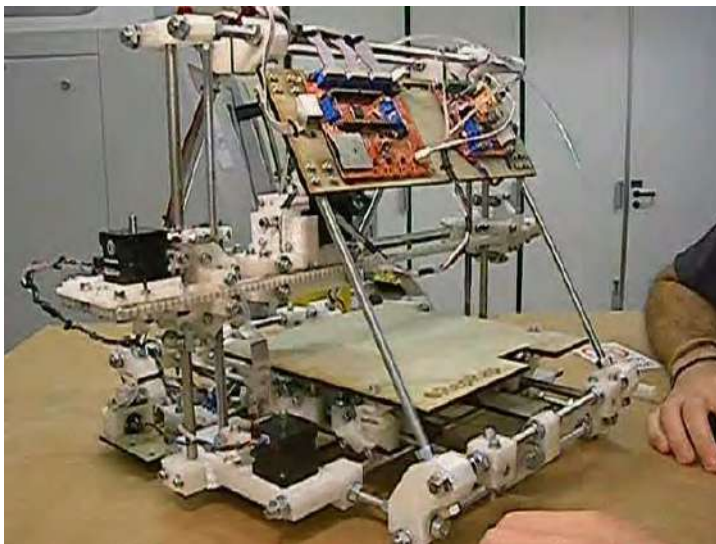


Imagen 2. Mendel, la impresora RepRap versión 2.0

Es a partir de 2009 que el proyecto de Bowyer de democratizar el acceso a la impresión 3D comenzó a hacerse realidad, con una gran reducción de costos y un aumento de la oferta de kits de ensamblaje y de partes vendidas por separado. Al poco tiempo, las grandes compañías que dominaban el ámbito profesional comenzaron a ver a particulares, familias, hobbistas y pequeñas empresas como un posible mercado, y a desarrollar una línea de productos específica.

En la actualidad existe una gran variedad de modelos de RepRap, resultado de adaptaciones y modificaciones hechas por parte de integrantes de la comunidad que generó el proyecto. Uno de los modelos más populares es el Prusa i3 (Imagen 3), utilizado en instituciones educativas, talleres particulares y hogares de muchos entusiastas.

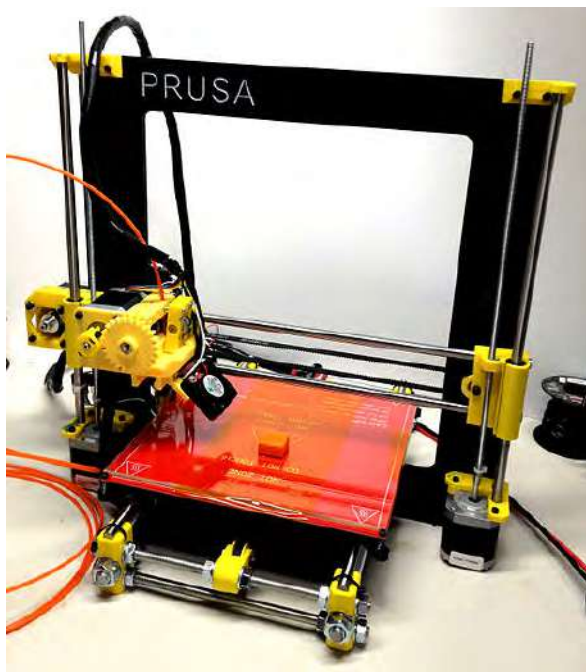


Imagen 3. Impresora modelo Prusa i3

3.2. EL *OPEN SOURCE* EN HARDWARE Y SOFTWARE

La filosofía *open source* (código abierto) fue la que alentó, en gran parte, el crecimiento y la expansión de estas tecnologías. La decisión tomada por Bowyer al momento de crear RepRap fue crucial para permitir que las personas que se involucran y utilizan estos modelos sean capaces de mejorarlos y adaptarlos a sus necesidades. Esta posibilidad, por otra parte, es la que promueve un ciclo de actualización continua que sigue en funcionamiento aún hoy.

Se trata de un modo de trabajo que tuvo su origen en el mundo del software y hace relativamente poco que su aplicación en hardware ha madurado lo suficiente como para tomar una entidad propia. En ambos casos, la idea detrás del código abierto es hacer público el diseño de las creaciones para permitir a los usuarios y a otros desarrolladores participar de la expansión de estos objetos. Mostrar cómo funciona o cómo está hecho algo permite que otros puedan crear sus propias alternativas y, en consecuencia, enriquecer el proyecto original.

En cierto sentido, la idea de crear hardware cuyo diseño sea libre y abierto tampoco es tan novedosa. Los aficionados y profesionales de la industria electrónica siempre han compartido pequeños diseños de aparatos y plaquetas a través de publicaciones en revistas y, más rudimentariamente, de mano en mano. Sin embargo, no fue hasta mediados del año 2000 que comenzó a extenderse el uso de código abierto en el mundo del hardware. Esto se debe mayormente a que el desarrollo y la popularización de internet hicieron más fácil compartir diseños. El éxito comercial del software de código abierto ayudó también a darle visibilidad al movimiento. Además, una reducción en los costos de las herramientas de producción, de los componentes electrónicos y de los medios y canales de distribución facilitaron que más personas pudieran involucrarse en el *open hardware*.

Los principales exponentes de esta filosofía en la actualidad son proyectos como [SparkFun](#), [LittleBits](#), Adafruit, Raspberry Pi, Arduino y, obviamente, RepRap. En nuestro país cabe destacar el proyecto Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA), que se basa en el desarrollo de un microcontrolador orientado a aplicaciones industriales creado colectivamente gracias a la cooperación entre distintas universidades del país. Su objetivo es contar con una alternativa nacional más robusta a la familia de placas Arduino, y que esta pueda ser usada en equipamiento a medida tanto en Pymes como en grandes industrias.

Por otro lado, la placa Arduino, una minicomputadora de interfaces abiertas y de bajo costo, es hoy la utilizada por la mayoría de los modelos de impresoras 3D. Es decir que una tecnología abierta habilitó y potenció el desarrollo de otra. De la misma forma, las impresoras 3D de bajo costo están creando un ecosistema más amplio para el desarrollo de hardware abierto. Ahora no solo es posible desarrollar el software de manera *open source*, sino también la electrónica y las partes mecánicas de un aparato, distribuyendo los diseños a través de la red.

3.3. ARQUITECTURA BÁSICA DE UNA IMPRESORA 3D

Los modelos del proyecto RepRap están centrados en el uso de la tecnología de impresión mediante deposición de material fundido, método ya explicado en el Capítulo 2. En su configuración más básica, esta forma de fabricación requiere un cabezal extrusor que caliente y deposite material, una serie de mo-

tores y elementos mecánicos que logren desplazar la boquilla y, finalmente, una cama calefaccionada que mantenga la temperatura de la base.

Una impresora 3D está formada por elementos de distinta naturaleza que cooperan entre sí para resolver los desafíos que representa transformar un archivo digital en un objeto físico. Se necesita software para diseñar los objetos y transformarlos en instrucciones que pueda entender la impresora; un firmware que interprete estas instrucciones en movimientos y acciones; componentes electrónicos para ejecutar las órdenes en servomotores, calentar el material y medir las temperaturas; elementos mecánicos para transformar los movimientos rotatorios de los motores en movimientos rectilíneos verticales y horizontales; y, por último, se necesita una estructura que dé soporte físico a todos estos elementos.

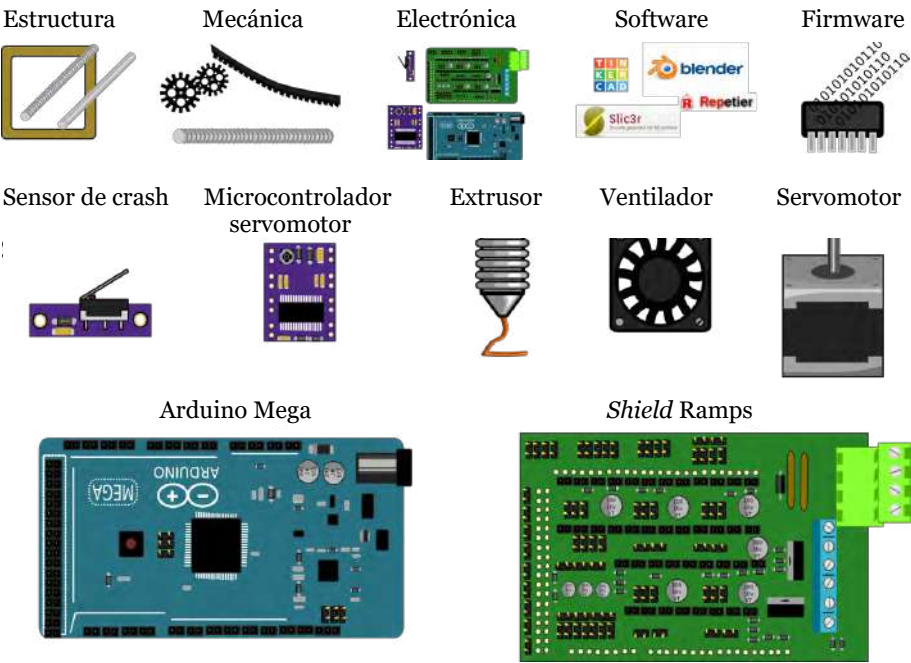


Imagen 4. Componentes de una impresora 3D

Los diferentes modelos, resultado de la evolución desde el Darwin original, han variado esencialmente en el desplazamiento mecánico, la estructura y la electrónica que llevan. Esta última, vinculada con la lógica de control digital, ha sufrido menos cambios a nivel de hardware gracias al uso de la plataforma Arduino y de un *shield*¹ llamado Ramps (Imagen 5), que simplifica la conexión de los sensores, motores y extrusores de la impresora.

1. Se conoce como *shields* a las placas predefinidas que expanden las capacidades de Arduino.



Imagen 5. *Shield Ramps*

Desde el punto de vista mecánico, existen variantes en donde la cama sobre la que se realiza la impresión se mueve sobre un eje Y (horizontal), mientras que la boquilla es manejada por otros motores para lograr su desplazamiento sobre X (horizontal, pero perpendicular a Y) y sobre Z (vertical). Una alternativa más reciente, en cambio, consta de una cama calefaccionada que permanece inmóvil y tres motores encargados de mover la boquilla sobre los tres ejes. Se utiliza, por lo general, un juego de correas y engranajes para realizar esos movimientos.

Desde el punto de vista electrónico, se emplean siempre motores paso a paso, que permiten controlar con precisión el movimiento de los ejes. Además, se utilizan sensores de temperatura (tanto para la cama como para el extrusor) y sensores de tope (para lograr encontrar los movimientos máximos del sistema mecánico). Se suelen incorporar, también, una pantalla LCD y un sistema de *joystick* para configurar y operar la máquina, además de un lector de tarjetas SD donde se almacenan los programas de los trabajos a realizar.

En cuanto al software, existe una gran variedad de herramientas, todas ellas de código abierto. El firmware de la máquina (software que controla la impresora) se ha desarrollado en el lenguaje Arduino y presenta diferentes versiones, una para cada línea de modelos.

Finalmente, en el plano estructural, los cambios se refieren a la forma de la máquina. Esta varía desde un simple cuadrado a formas más complejas como la cilíndrica en la línea de modelos Rostock. Además, puede variar el material con el cual se construye la estructura de la impresora, desde acrílico, madera o MDF, hasta aluminio y otros metales.

Uno de los modelos más populares, el Prusa i3 (Imagen 6), servirá como ejemplo para poder caracterizar los elementos que componen la impresora mediante un caso hipotético de impresión de un objeto.



Imagen 6. Frente de impresora modelo Prusa i3

Para empezar, utilizaremos Blender (una aplicación para el modelado 3D) para diseñar un cubo, el cual luego será exportado en un archivo en formato STL. Este tipo de archivo, creado por la empresa 3D Systems, se usa mucho para la representación de objetos 3D ya que solo almacena información sobre la geometría –o forma– del objeto, sin incluir color o textura, como sucede en otros formatos. Luego, utilizando el software Slic3r, se traduce este objeto en una serie de instrucciones que puede ejecutar la impresora, junto con parámetros propios de la configuración (como tamaño de la cama, temperatura del material, etc.). El archivo que contiene esta información, conocido como G-code o código G, se almacena en una memoria externa SD para luego ser ingresado al lector de la impresora 3D (Imagen 7).



Imagen 7. Pasos para la traducción de un diseño 3D en órdenes de fabricación

El firmware de la máquina, Marlin en el caso de este modelo, lee el archivo de la memoria microSD y luego, gracias a la acción del usuario, se envía el trabajo a la cola de impresión. Antes de comenzar el proceso de materialización, la impresora debe calentar la cama calefaccionada y el *hot end* (extremo caliente) de la boquilla para poder derretir el material. En paralelo, los motores se pondrán en marcha para colocar al extrusor en la posición de origen. Al realizar estas tareas se hace uso de:

- Sensores de temperatura en la cama y la boquilla para controlar el calor en ambos lugares.
- Resistencias que calientan la cama y el extrusor.
- Sensores de *crash* (o de fin de carrera), que asisten en la búsqueda de la posición de origen.
- Los *drivers* de los motores, para permitir su control a través del firmware.
- Los motores que realizan los movimientos sobre los ejes X, Y, Z.
- Las correas y engranajes utilizados para hacer estos movimientos.

Una vez que concluyen los preparativos, la impresora desplaza la boquilla hacia el primer punto de impresión valiéndose de los servomotores en los ejes y de un motor extra que se encarga de empujar el material dentro del extrusor. Mientras tanto, un ventilador ayuda a disipar la temperatura y evitar el sobrecalentamiento. Por último, siguiendo las instrucciones del código G, la impresora irá desplazando el cabezal que deposita el material fundido para dar forma al objeto 3D. Una vez terminada esta última fase, la temperatura de la cama y del extrusor vuelven a cero para facilitar el retirado de la pieza.

3.4. USO Y PROMOCIÓN EN ARGENTINA

Existe una gran variedad de alternativas a la hora de adquirir una impresora 3D de bajo costo: desde kits para armar o modelos abiertos que invitan a la intervención, hasta modelos listos para usar. Además, la oferta no se limita a empresas extranjeras, hay fabricantes nacionales que ofrecen tanto equipos de impresión como insumos para los mismos.

En 2015, varios ministerios (en particular el de Industria, Ciencia y Tecnología, el de Educación y el de Trabajo), bajo la órbita de la Jefatura de Gabinete de Ministros de la Nación, promovieron una serie de políticas para la adopción de estas tecnologías. En un relevamiento realizado al año siguiente por el INTI,² se llegó a localizar a más de cien actores locales. Entre ellos figuraban quince universidades nacionales –además de algunas fundaciones no universitarias– que desarrollaron diversos proyectos de investigación con el objetivo de enriquecer el ecosistema de la impresión 3D en nuestro país: la Universidad Nacional de Córdoba generó el proyecto de “Desarrollo, ensayo y caracterización de material de aporte para la impresión 3D de viviendas”, que avanza en el desarrollo de una impresora 3D para la extrusión de cemento,

2. Ver INTI, 2016.

arena y otros aditivos; la Fundación Argentina de Nanotecnología, el proyecto “Desarrollo de ABS modificado con el agregado de nanopartículas de plata, sílice y alúmina”, que tiene por objetivo dotar a los productos impresos de propiedades antibacterianas; en la Universidad Nacional de la Plata, el Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada impulsa el proyecto de “Diseño y desarrollo de impresora 3D con cabezal de jeringa doble para uso en biotecnología como herramienta de bioprinting” (Mincyt, 2015).

Materialización de objetos con una impresora 3D

El objetivo de toda impresión 3D es materializar una idea que da solución a un problema. Para ello es necesario desarrollar un diseño mental preliminar, luego plasmarlo en un diseño digital y finalmente transformarlo en objeto físico. Todo esto comprende una serie de pasos (Imagen 1) que involucran distintos tipos de software y hardware.



Imagen 1. Pasos de una impresión 3D

El primer paso es tener una idea para un objeto nuevo. La concepción de esta idea puede surgir de un estudio exploratorio previo vinculado a un problema complejo, ser parte de un experimento para comprender mejor la impresora y calibrar el equipo, o simplemente vincularse con las ganas de contar con un bello adorno personalizado para una habitación. El diseño en papel del objeto con medidas precisas será de gran ayuda, aunque para aplicaciones menos exigentes puede ser suficiente tener un boceto vago.

El siguiente paso es contar con un modelo 3D digital para imprimir. Se puede crear con una herramienta de diseño 3D o descargarlo de un catálogo en línea de objetos. Existe una alternativa más en este aspecto, los modelos 3D parametrizables, que pueden ser configurados a través de una interfaz simple para cambiar su geometría según la necesidad del usuario. Por ejemplo, un modelo 3D de un tornillo parametrizable podría tener un parámetro que modifique el largo del mismo.

Una vez que se cuenta con el modelo 3D, es necesario que un software especializado, conocido como *slicer*, procese el archivo y lo transforme a código G. Este código, como ya se dijo, contiene las instrucciones precisas para que la impresora pueda crear el objeto a partir de la suma de diferentes capas del material de impresión.

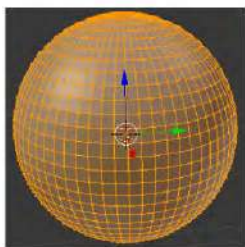
Con el archivo de código G se puede pasar a la materialización del objeto propiamente dicha, donde la impresora realiza la deposición de material siguiendo las instrucciones necesarias. Una vez finalizada la impresión, es momento de realizar los acabados finales: si hace falta, se remueve el material de soporte, se liman asperezas y se pueden aplicar distintos químicos para mejorar la presentación de la pieza.

En las próximas secciones se encuentran desarrollados, con mayor profundidad, cada uno de estos pasos junto con algunas recomendaciones de software.

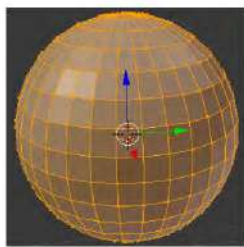
4.1. DISEÑO 3D

Existen muchas alternativas que permiten obtener un modelo 3D para la impresión. Desde aplicaciones de modelado 3D de distribución libre a bibliotecas repletas de gran variedad de objetos. Lo única observación que se debe tener en cuenta para la impresión 3D es que debe existir la posibilidad de exportar el modelo al formato STL.

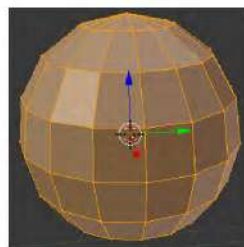
STL (siglas provenientes del inglés *stereolithography*) es el formato de archivo estándar de prototipado rápido. Utiliza una malla de triángulos sobre las superficies para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños sean estos triángulos, mejor será la aproximación a la superficie y la resolución, aunque lograr una buena impresión requerirá de un mayor tiempo de fabricación del prototipo.



Resolución alta
Cantidad de triángulos¹
3968



Resolución media
Cantidad de triángulos
960



Resolución baja
Cantidad de triángulos
224

Imagen 2. Ejemplos de resolución de archivos STL

1. Cada uno de los planos que componen las esferas está compuesto por dos triángulos.

En cuanto al software, existe una gran variedad de alternativas, tanto pagas como gratuitas o de código abierto. Entre las aplicaciones pagas se encuentran **3DSMax** y **Rhinoceros**, entre las gratuitas Tinkercad y **Sketch Up**, y entre las opciones de código abierto están Blender y OpenSCAD. En esta guía de trabajo nos enfocaremos particularmente en Tinkercad y haremos una breve reseña acerca de OpenSCAD y Blender.

- **Tinkercad:** tiene una interfaz amigable e intuitiva, ideal para los principiantes. Lo mejor es que no requiere de instalación ya que se puede trabajar *online* desde cualquier navegador. Además, incluye tutoriales muy bien explicados para dar forma a ideas, añadir letras, cambiar tamaños, crear objetos, modificar, añadir o restar formas mediante operaciones booleanas. Sitio: <www.tinkercad.com>.

- **Blender:** es un proyecto de código abierto, alternativo a las costosas plataformas de modelado 3D como Maya, 3DS Max o Cinema 4D. Fue lanzado como un proyecto de código abierto en septiembre de 2002 y goza de una amplia base de usuarios en todo el mundo. Existe una gran comunidad alrededor de Blender, lo cual permite contar con apoyo técnico a través de preguntas y respuestas en foros, y de tutoriales y videotutoriales generados por usuarios. Usar Blender puede ser muy útil para funciones concretas como convertir un archivo de 3DS a OBJ, STL u otros tipos de formato. Además, posee muchísimas funciones automáticas para las que no hace falta ser un experto y que pueden ser muy útiles, como el suavizado poligonal. Sitio: <www.blender.org>.

- **OpenSCAD:** aplicación de software libre para crear objetos sólidos tridimensionales. No es un editor interactivo como las demás alternativas mencionadas, sino un compilador 3D basado en un lenguaje de descripción textual. A partir de diferentes instrucciones, permite realizar modificaciones sobre elementos tridimensionales que se combinan para crear geometrías complejas. Un documento de OpenSCAD especifica primitivas geométricas² y define cómo son modificadas y manipuladas para reproducir un modelo 3D. Sitio: <www.openscad.org>.

Las habilidades necesarias para utilizar uno u otro programa son diferentes. Con Tinkercad se pueden lograr modelos sencillos en muy poco tiempo y es poca la destreza necesaria para obtener resultados prácticos. Blender, por otro lado, es mucho más complejo de utilizar pero a su vez muchísimo más potente. OpenSCAD tiene un enfoque distinto que permite desarrollar geometrías a partir de un lenguaje descriptivo que facilita realizar modelos con medidas

2. En los programas de diseño asistido por computadora, los objetos se modelan a partir del uso de primitivas geométricas como el punto, la recta, la curva, la esfera, etcétera.

precisas. También habilita la posibilidad de crear con mayor facilidad objetos paramétricos, que son aquellos cuyas características están dadas por parámetros modificables.

Como ha sido mencionado antes, es posible también obtener modelos a partir de catálogos *online* creados colectivamente. Existen en ellos gran variedad de objetos que pueden cubrir las necesidades generales y que además admiten ser sujetos a modificaciones o adaptaciones.

Una lección importante para la fabricación digital es “no reinventar la rueda”: tal vez alguien ya hizo algo similar antes y lo ha compartido a través de una licencia Creative Commons. Si este es el caso, entonces podremos descargarlo, imprimirlo e incluso modificarlo para obtener un nuevo modelo. Thingiverse, por ejemplo, es un popular sitio creado por la empresa [MakerBot](#) donde se ofrecen modelos para la impresión 3D, inclusive diseños listos para imprimir. Sin embargo, no es el único repositorio de objetos digitales. Algunos otros son:

- www.yeggi.com/new/3/
- www.yobi3d.com
- grabcad.com/home
- www.myminifactory.com

4.2. SLICING

Una vez que se cuenta con el objeto digital, lo siguiente es convertirlo a otro formato, el código G: este es el archivo propiamente dicho de la impresión 3D, ya que es el que interpreta la impresora y, en general, es el lenguaje descriptivo que utilizan las máquinas de control numérico (CNC) para realizar los trabajos de materialización. Entre los equipos más comunes que interpretan este código se incluyen fresadoras, cortadoras y tornos.

Se puede afirmar que el G-code o código G es en realidad el lenguaje mediante el cual las personas pueden decirle a las máquinas o herramientas controladas por computadora qué hacer y cómo hacerlo. Esos *qué* y *cómo* están definidos mayormente por instrucciones que le dicen a la máquina hacia dónde moverse, cuán rápido y qué trayectoria debe seguir.

Cuando se transforma un archivo STL (u OBJ) a código G, se está convirtiendo un modelo 3D en una serie de pasos que va a tener que seguir la impresora para construir ese objeto. Esta es la parte la más importante de la impresión 3D y, dependiendo de qué programa se elija y cómo se use, se puede tener una gran variedad de resultados para una misma pieza. Los programas que traducen de STL a G-Code se llaman *slicers* y por eso muchas veces a este proceso se lo conoce como *slicing* (rebanar, en inglés)

Al momento de la impresión, el objeto digital pasará al plano de los objetos físicos y tanto las propiedades estructurales como la fuerza de gravedad comenzarán a afectarlo. Por tales motivos hay que realizar una serie de acciones que ayuden a esta transformación, desarrollando estructuras auxiliares para

facilitar la construcción del objeto y proporcionar patrones de relleno para mejorar su rigidez estructural.

4.2.1. Estructuras auxiliares

Debido a las características físicas de los materiales y procesos utilizados en la impresión 3D, es necesario tomar algunas medidas al momento de crear el G-code. Hay geometrías que, de hecho, son imposibles de imprimir directamente utilizando solo la técnica de capa por capa. Este es el caso de volúmenes que describen ángulos rectos o agudos con respecto a la base (Imagen 3).



Imagen 3. Ángulos de estructuras 3D

En estos casos, el material fundido no tiene donde apoyarse y, por acción de la gravedad, termina cayendo hasta la base en lugar de ocupar el lugar que le corresponde según el modelo 3D. Como respuesta a este problema es que se crean los soportes: son pequeñas estructuras, impresas por lo general con el mismo cabezal y material, que permiten realizar este tipo de geometrías y que están hechas para que resulten fáciles de retirar una vez terminada la impresión (Imagen 4).

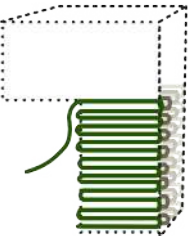
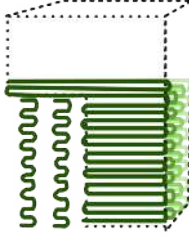
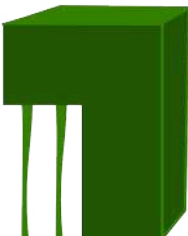
Sin material de soporte	Con material de soporte	Impresión finalizada
 El filamento extruido, aún caliente, cae por acción de la gravedad	 El filamento extruido se sostiene gracias al material de soporte	 Resta retirar el material de soporte

Imagen 4. Impresión con y sin material de soporte

Otra situación que puede darse es que el material de impresión no se adhiera adecuadamente a la cama calefaccionada, causando que las esquinas del modelo se arqueen o que el material de impresión se desplace fuera de la posición que le corresponde debido a esta falta de adherencia. La solución a este problema es otra estructura auxiliar llamada *raft* o balsa (Imagen 5.a). Esta estructura es una malla que se crea con la propia impresora y sirve para mejorar la estabilidad del objeto sobre la cama. Sin embargo, no es trivial el desarrollo de la misma ya que se debe tener cuidado de que sea fácil de retirar y que al mismo tiempo cumpla su función (algunos programas tienen problemas al crear *rafts* que no se despeguen de la base).

(a) Objeto impreso sobre un *raft* (b) Objeto con *brim* (c) Objeto impreso con *skirt*

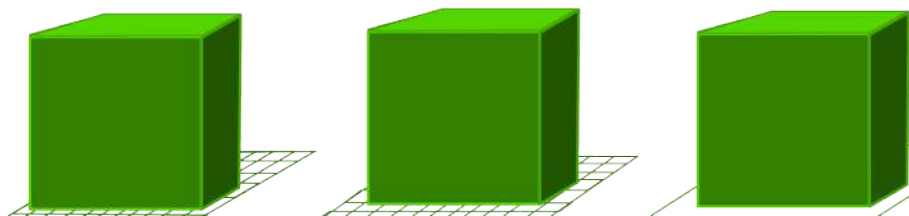


Imagen 5. Otros tipos de estructuras auxiliares

Una estructura muy similar es el *brim* (b) o borde, que en lugar de generarse debajo del objeto, lo hace alrededor del mismo, lo que lo hace más fácil de quitar de la pieza final. Por último, existe una estructura auxiliar llamada *skirt* (c) o falda, que se suele utilizar con el fin de delimitar la zona de impresión y, principalmente, purgar el cabezal de impresión para asegurar un buen flujo de plástico en las capas inferiores. En general, estas tres estructuras (*raft*, *brim* y *skirt*) son mutuamente excluyentes.

4.2.2. Relleno

Otra consecuencia de la materialización de objetos digitales es la necesidad de generar relleno para que los mismos cuenten con rigidez estructural. Si bien una solución trivial podría ser rellenar por completo el objeto, esta alternativa tiene dos problemas: por un lado significa un gran desperdicio de material y, por otro, demasiada rigidez, lo cual podría aumentar la fragilidad de la pieza. Por eso, las impresoras cuentan con diversos patrones que pueden utilizar para rellenar los huecos de piezas sólidas. Los softwares de *slicing* en general implementan varios de ellos con parámetros personalizables. Si bien existe una gran cantidad de alternativas que tienen sus pros y sus contras, a continuación se describirán solo tres de los patrones de relleno más populares y eficientes:

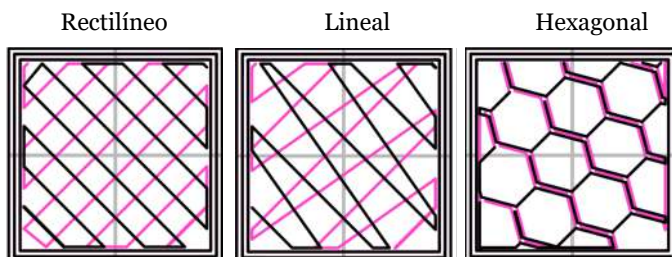


Imagen 6. Patrones de relleno

- **Rectilíneo:** es el patrón más eficiente en cuanto a velocidad, costo y rigidez que proporciona.
- **Lineal:** es uno de los más rápidos de imprimir (ya que requiere menos movimientos del cabezal) y tiene un costo similar al anterior. La rigidez que proporciona es levemente menor, haciéndolo muy popular.
- **Hexagonal:** este patrón, cuyo nombre en inglés (*honeycomb*) se traduce como “panal”, es el que menos material utiliza en proporción a la rigidez que otorga. Sin embargo, tarda mucho en imprimir ya que requiere más movimientos por parte del cabezal de impresión.

Sea cual fuere el patrón elegido para el relleno, la cantidad que se haya configurado para el mismo hará variar también la rigidez y el consumo de material. Por ejemplo, en la Imagen 7 se puede notar cómo varía la impresión, utilizando siempre el patrón *honeycomb* como relleno, con porcentajes de relleno de 20 al 80 por ciento.

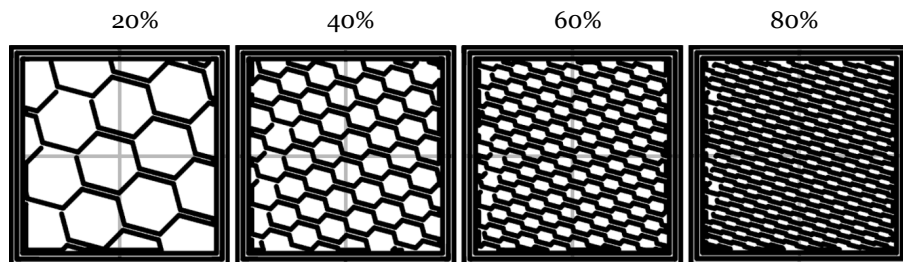


Imagen 7. Variaciones en el porcentaje de relleno

4.2.3. Softwares de *slicing*

En este libro vamos a describir a tres de los programas más populares: Slic3r, Cura y Kisslicer. Si bien la elección de cuál programa utilizar puede ser una cuestión de gusto, cada uno presenta distintos desempeños según el tipo de objeto a fabricar y por eso es importante conocerlos bien antes de elegir uno.

- **Cura:** es un software que nos va a permitir convertir los archivos STL (que contienen nuestro diseño 3D) en piezas físicas utilizando un solo entorno de trabajo. Tiene una interfaz visual atractiva y una representación de modelos avanzada, con opciones de rotación y escalado. Además, es muy rápido a la hora de cargar y guardar archivos. El *raft* que produce este software es de los mejores, en general resulta muy fácil de despegar. Sin embargo, los soportes no son tan complejos ni avanzados como en el software Kisslicer. Si bien es válido para otros tipos de objetos, este programa se recomienda para figuras simples, por ejemplo piezas de una impresora 3D. Sitio: <<http://ultimaker.com/en/products/cura-software>>.

- **Slic3r:** es un *slicer* con una gran cantidad de parámetros para configurar. Tiene una útil herramienta para cortar objetos por la mitad que puede servir alguna vez. Cuenta con un servicio de mantenimiento que actualiza y optimiza todas sus características. Sitio: <slic3r.org/>.

- **Kisslicer:** es el más antiguo de los tres, un programa multiplataforma, rápido y fácil de usar. Se destaca por tener una buena simulación 3D del objeto y de cómo va a ser impreso, a diferencia de Slic3r, que es mucho más básico. Por el momento, es el que produce los mejores soportes. Sitio: <www.kisslicer.com>.

4.2.4. Configuración básica de un *slicer*

La manera ideal de experimentar con los parámetros de un *slicer* es seguir un orden lógico. Estos softwares cuentan con muchos parámetros a configurar, desde datos relacionados con el modelo de la impresora a otros vinculados con el tipo de filamento o con las boquillas.

Ajustes de la impresora:

- Tipo de impresora y firmware que utiliza.
- Tamaño y desplazamiento de la plataforma de impresión, altura Z máxima: un valor típico para el sobre de impresión de las impresoras comunes es de 20 x 20 x 20 cm.
- Número de extrusoras, diámetros de las boquillas y otros parámetros para la extrusión.

Ajustes de los filamentos:

- Diámetro del filamento: debe ser una medida real exacta, el valor nominal no es lo suficientemente preciso para el cálculo correcto de la longitud del plástico que se va a extruir.

- El factor de proporcionalidad o multiplicador (también conocido como ajuste de 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.
- Temperaturas de la cama y del extrusor.
- Ventilador de enfriamiento.

Ajustes de impresión:

- Altura de la capa (puede ser diferente para la primera): por lo general, es de entre 0,1 mm y 0,25 mm (el máximo no debería ser mayor al 80 por ciento del tamaño de la boquilla).
- Grosor de las paredes: el aumento de este valor hará que el objeto sea más robusto.
- Grosor superior e inferior de las capas: igual que el anterior.
- Porcentaje de relleno: la cantidad de plástico que se utilizará para la mayor parte del objeto. Normalmente va de 0 (objetos huecos) a 50 por ciento (partes sólidas, muy fuertes). Raramente se utiliza más de 50 por ciento, los valores típicos son de entre 10 y 20 por ciento.
- Patrón de relleno: es el patrón utilizado para crear el relleno. Los más utilizados son el rectilíneo y el hexagonal.
- Velocidad de impresión (para las diferentes tareas): este ajuste se relaciona 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 (*brim*): la falda es la cantidad adicional de plástico extruido antes de la impresión real con el fin de evitar iniciar el proceso con la boquilla vacía; el borde es un grosor adicional en la primera capa de filamento para lograr 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; el soporte, a su vez, es una estructura esponjosa construida en plástico y sirve para apoyar desde abajo las partes del objeto que de otra manera no se podrían imprimir, porque cuelgan.

4.3. PUESTA A PUNTO

Antes de comenzar con la impresión a partir del archivo con el código G, se debe poner a punto la impresora. Para ello es necesario asegurarse de que el cabezal de impresión se encuentra en la posición de origen y que las temperaturas de la cama y el extrusor son las adecuadas.

Existen impresoras con una interfaz de usuario independiente que, a partir de un juego de perillas, botones y un panel LCD, permiten enviar las órdenes directamente y materializar un archivo guardado en una memoria microSD. Sin embargo, no todas las máquinas cuentan con dicha interfaz. En esos casos, se suelen utilizar un software conocido como *host* (anfitrión), que lleva las instrucciones desde una PC a la impresora.

Una *host* muy utilizado es Pronterface, un empaquetado de aplicaciones de G-code creado por Kliment que incluye Printcore (emisor del código G), Pronsole (línea de comandos del emisor de código G), Pronterface (interfaz gráfica del usuario) y una pequeña colección de rutinas (*scripts*) útiles. Mediante esta interfaz de usuario altamente intuitiva (Imagen 8) se logra el control completo de la impresora.

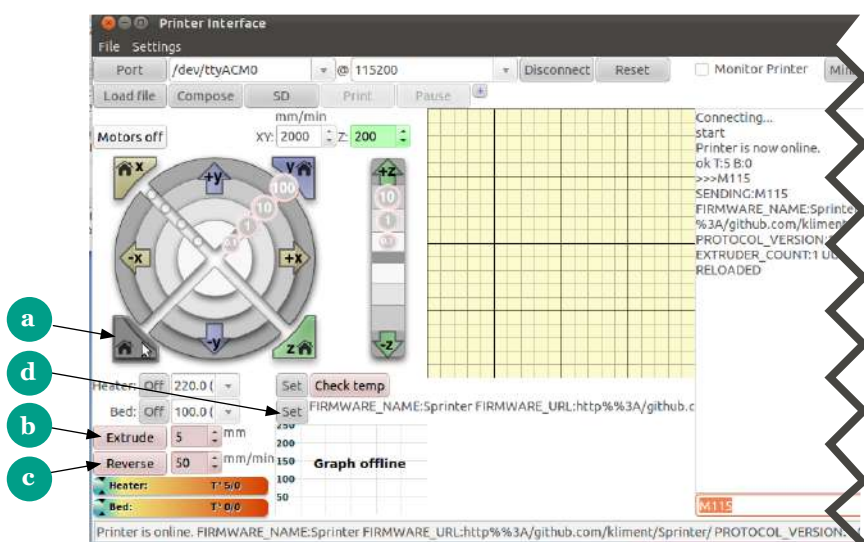


Imagen 8. Interfaz de la aplicación Pronterface

Usar Pronterface es muy sencillo. Solo necesitas conectar la impresora a la computadora mediante un cable USB y luego pulsar en la interfaz el botón *Connect*. A partir de ese momento se pueden controlar, a través del software, tanto los motores como la temperatura del extrusor y la cama caliente.

Si presionas el ícono de la casa (a), por ejemplo, los servomotores llevarán el cabezal de impresión al punto de origen (denominado *home*). Para esto, el motor se desplazará en dirección al inicio hasta que se tope con el final de carrera, y así se habrá calibrado ese eje.

En cambio, si presionás *Extrude* (b) se accionará el motor del extrusor y, si el extrusor está caliente (170 °C, mínimo), comenzará a salir plástico de la boquilla. Por el contrario, con el botón *Reverse* (c) se absorberá el plástico que aún no se haya derretido.

También se puede determinar la temperatura del extrusor y de la cama caliente poniendo un valor en los campos correspondientes y pulsando en *set* (d). Es una buena costumbre realizar controles de los sensores, del filamento y de la posición de origen antes de comenzar una impresión.

4.3.1. Nivelación de la cama

La cama debe estar nivelada y calibrada para lograr buenos resultados de impresión, ya que una cama en desnivel puede crear muchos problemas al solaparse verticalmente las capas. Que una cama esté nivelada significa que el plano de esta se encuentre perpendicular al eje Z y, además, a una altura concreta.

Cuando se envía el extrusor al origen, este baja lentamente hacia la cama. Una vez que el eje Z llega a su punto de origen, la distancia entre la superficie de la cama (también llamada cristal) y la boquilla del extrusor debe ser de 0,1 mm para considerarse calibrada. Además, debe mantener esa distancia en todos los puntos de la cama. Para verificarlo se recomienda que, con los botones de movimiento de los motores, se coloque el extrusor sobre los extremos de la cama (en cada uno de ellos habrá un tornillo) y se compruebe que la boquilla siempre esté situada a 0,1 mm.

Para saber cuándo se debe ajustar uno de los tornillos de la cama, podés pasar una hoja de papel entre el extrusor y la base. Si la hoja pasa sin problemas y no queda demasiada luz entre esta y el cabezal, entonces en ese punto la cama está en una altura correcta. Si no lo está, deberás ajustar o aflojar el tornillo en ese extremo. La calibración y el nivelado son importantes para que las primeras capas se adhieran correctamente a la cama. Por otra parte, calibrar la cama con el extrusor pegado al cristal podría provocar un atasco del extrusor, ya que el material no logrará salir y se acumulará en el interior.

4.3.2. Preparación de la base

Como ya se dijo, puede suceder que las esquinas del objeto que se imprime se arqueen como consecuencia de la retracción del material. O que directamente este no se adhiera correctamente a la cama y se despegue, arruinando el trabajo completo de impresión.

Para evitarlo, es necesario colocar laca en el cristal, así el objeto a imprimir se adherirá bien a la superficie. El tipo de laca recomendada es la que sirve para la fijación del cabello o alguna otra de fijación muy fuerte. Una variante

posible es usar cinta Kapton (cinta de poliamida, eléctricamente aislante y resistente al calor) para que el objeto se adhiera mejor. La temperatura de la cama, que en el caso del ABS debe estar a unos cien grados y en el del PLA a unos setenta, también influye mucho en la adherencia.

4.4. TÉCNICAS DE POSPROCESADO

Una vez concluida la impresión, dependiendo del tipo de pieza, del proceso utilizado y del acabado que se desea, es necesario realizar ciertas tareas para dar por finalizada la materialización del objeto.

- **Retirar el soporte:** lo primero que se debe hacer cuando el objeto terminó de imprimirse es retirar, si existiese, el material de soporte. Esto también incluye retirar estructuras auxiliares como el *brim* o el *raft*. Si se ha configurado bien el *licer*, bastará con aplicar fuerza en el soporte teniendo mucho cuidado de no hacer presión en una zona delicada del objeto, ya que este se podría romper. Es altamente recomendable utilizar pinzas para aplicar de forma correcta la fuerza.
- **Quitar imperfecciones:** es posible que queden ciertos restos de plástico en la figura debido a errores de impresión. Para quitar esos restos se recomienda usar una lijadora-taladro con un disco de alambre lo más fino posible (el disco de alambre se adapta bien a las irregularidades del objeto impreso). Al lijar es obligatorio utilizar gafas protectoras y barbijo para evitar respirar excesivamente el plástico. Después del lijado se recomienda lavar la figura con agua para quitar los restos de polvo de plástico.
- **Acetonado:** en caso de utilizar ABS, el acetonado le da a los objetos impresos un aspecto más fino, brillante y liso, sin rastro alguno de las capas de impresión.
- **Pintado:** si se va a pintar el ABS (no importa si está acetonado o no) se recomienda utilizar siempre filamento de color blanco, ya que los otros colores a menudo dificultan enormemente la adhesión de la pintura. Además, se deben aplicar antes una o dos capas de imprimación, esperando media hora entre capa y capa, y luego una o dos capas de pintura, esperando también treinta minutos o una hora entre capa y capa. Por último, se aconseja usar un barniz para que la pintura quede bien adherida y se le dé un último acabado.

Prácticas en diseño 3D e impresión de objetos

En este apartado veremos cómo usar dos herramientas gratuitas para crear objetos digitales 3D personalizados que respondan a una gran variedad de necesidades. Si bien ya se mencionó que en la web existen amplios catálogos de objetos digitales, en muchos casos estos diseños necesitarán modificaciones o adaptaciones.

5.1. PROYECTO EN TINKERCAD

Tinkercad es una herramienta gratuita de diseño 3D que funciona *online*, sin necesidad de descarga, aunque para utilizarla hay que registrarse a través de su web (www.tinkercad.com). En la misma página encontrarás un catálogo de objetos disponibles para descargar e imprimir, todos ellos creados por la comunidad que utiliza la herramienta. Además, tiene una sección de aprendizaje (*Learn*) con muchos ejemplos y tutoriales.

Este programa utiliza un concepto muy sencillo para crear los diseños. Se basa en objetos prearmados que se pueden combinar, deformar, escalar y restar. Para ello se vale de una interfaz *drag & drop* (arrastrar y soltar) muy intuitiva.

5.1.1. Registro

Para abrirte una cuenta en Tinkercad necesitás tener una cuenta de correo electrónico, aunque también se puede utilizar el sistema de usuarios de Facebook. Simplemente hacés clic en *Sign up* (Registrarse), en la página principal de Tinkercad (Imagen 1). Luego, en la ventana que emerge, tenés que colocar un nombre de usuario, una contraseña y dirección de correo electrónico. Acto seguido, podés crear tu cuenta haciendo clic en *Crear cuenta* (2).

1



2

Crear cuenta

Correo electrónico

Contraseña

☐ Acepto los Términos del servicio de Tinkercad y la Declaración de privacidad de Autodesk.

CREAR CUENTA

¿YA DISPONE DE UNA CUENTA? INICIE SESIÓN

Su cuenta para todo lo relacionado con Autodesk

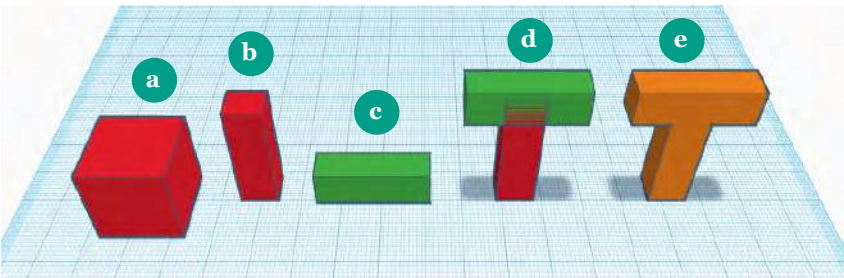
MÁS INFORMACIÓN

5.1.2. Primeros pasos

En Tinkercad, los modelos 3D se generan a partir de la unión o la resta de figuras geométricas elementales. Así, por ejemplo, una letra T puede estar formada por la suma de varios cubos estirados, que luego se agrupan (Imagen 3).

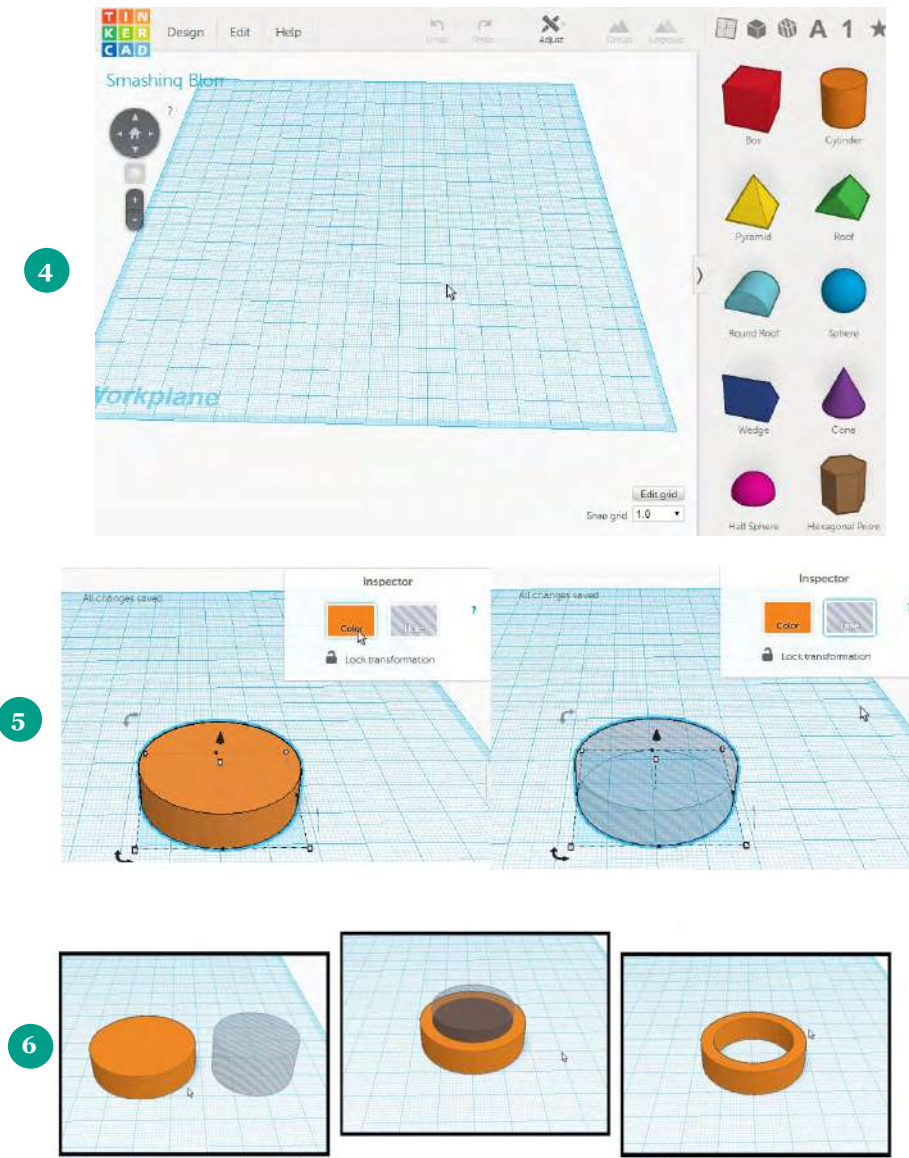
Para ello, se crea un cubo (a) y se estira hacia arriba (b). Luego se crea otro y se estira a lo largo (c). Finalmente, se colocan uno sobre el otro (d) y con la herramienta *Agrupar* se unen ambos objetos para formar la letra T (e).

3

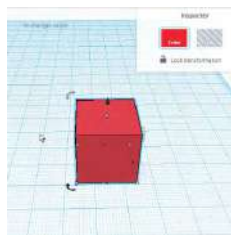


Tinkercad utiliza una interfaz sencilla. Los objetos se toman desde un catálogo (se ve a la derecha de la Imagen 4) que incluye formas geométricas y caracteres tridimensionales, y luego se sueltan en el plano de trabajo (el rectángulo celeste). Además, a las figuras se las puede usar en formato sólido o en formato agujero (5).

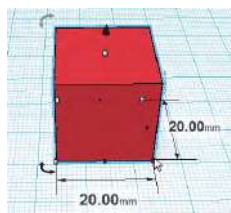
Esta cualidad se puede aplicar para ahuecar piezas sólidas. Por ejemplo, para hacer una letra O se usan dos cilindros, uno sólido y otro más pequeño en formato de agujero. Luego, una vez solapados, se agrupan. Es allí cuando toma efecto el hueco dentro del sólido, tal como muestra la Imagen 6.



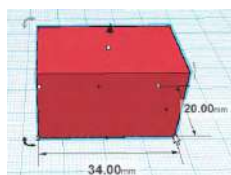
Cada vez que hacés clic izquierdo sobre un objeto, podés ver las propiedades del mismo y los controles necesarios para realizar transformaciones. En la siguiente tabla se describen diferentes transformaciones que se puede realizar sobre un objeto cualquiera.



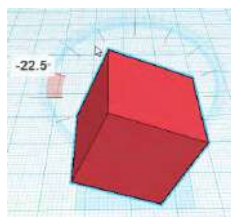
Propiedades básicas: en el Inspector, le podés dar color al modelo (haciéndolo sólido o hueco). Los cuadrados blancos que rodean la figura permiten cambiar el tamaño (largo, ancho o alto del objeto). Los controles en forma de flecha curva sirven para girar el objeto.



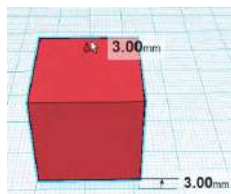
Medidas: al hacer clic en los controles con forma de cuadrados blancos, se ven las medidas precisas del objeto.



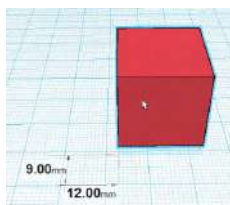
Cambiar tamaño: para modificar el tamaño, basta con hacer clic en el control con forma de cuadrado blanco y arrastrar.



Girar: al hacer clic en el control en forma de flecha curva, se puede modificar la inclinación del objeto.

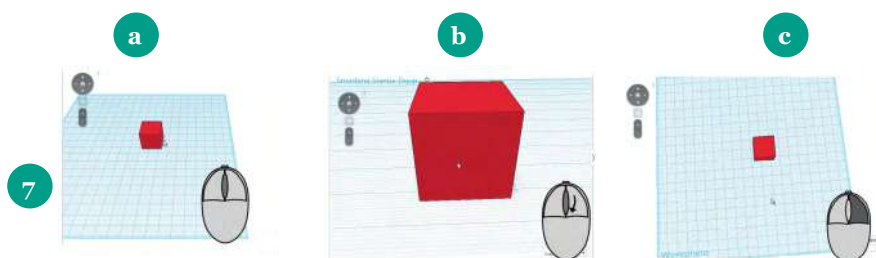


Subir y bajar: con este control podés desplazar el objeto hacia arriba y hacia abajo. En la parte inferior figura la distancia entre el objeto y el plano de trabajo.



Mover objetos: haciendo clic sobre la figura, la podés desplazar sobre el plano de trabajo. Cuando se hace esto, aparece un rectángulo punteado en negro que muestra la cantidad de milímetros que se desplazó al objeto desde el punto previo.

El manejo de la cámara con la cual visualizamos nuestro espacio de trabajo es muy sencillo, para ello se utiliza el mouse (Imagen 7). El botón izquierdo sirve para seleccionar objetos; y al hacer clic en un área vacía y arrastrar el mouse, se crea un área de selección. Si presionás el botón del medio (a), podés desplazar la cámara hacia los lados: la ruedita (b) sirve para acercar o alejar la cámara. Finalmente, el botón derecho (c) se usa para girar la cámara alrededor del punto focal.

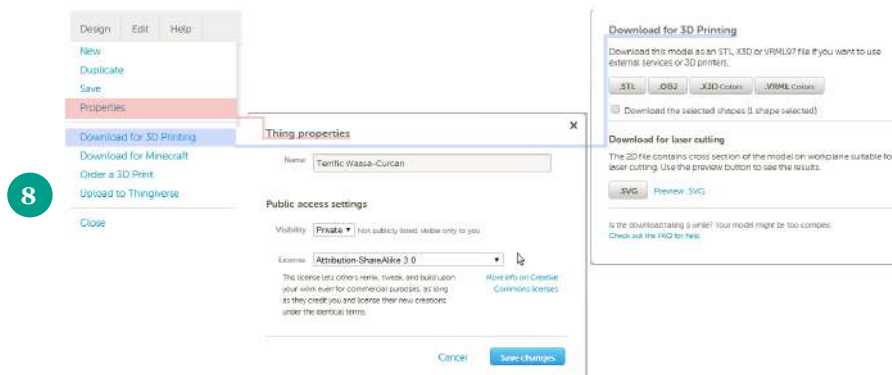


Mover cámara:
botón del medio

Zoom:
ruedita del mouse

Girar cámara:
botón derecho

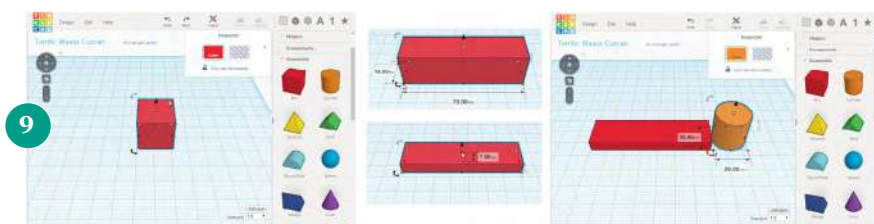
Para cambiar el nombre del proyecto, debés hacer clic en el nombre actual para habilitar la edición de ese texto. Por otro lado, si querés exportar el proyecto para habilitar la impresión 3D del objeto, tenés que acceder al menú *Exportar* y elegir el fomato STL (ver Imagen 8).



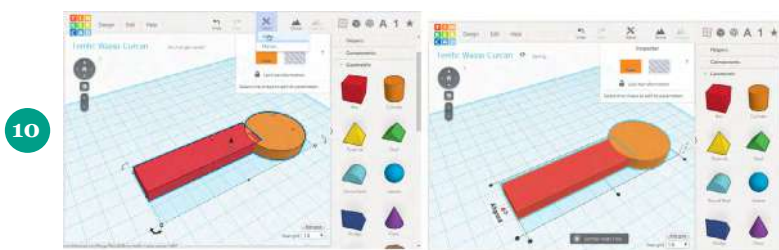
5.1.3. Un ejemplo de proyecto

En esta sección explicaremos paso a paso cómo construir una pequeña llave fija con Tinkercad. Para ello haremos uso de todas las herramientas básicas descritas anteriormente.

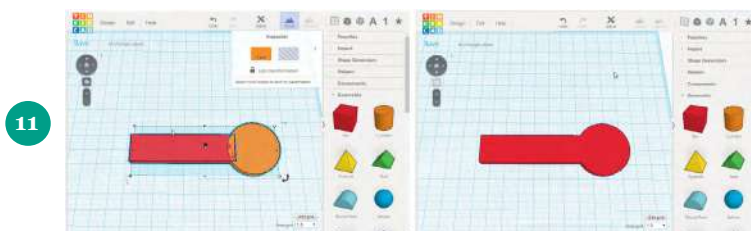
Una vez iniciada la sesión en el programa, comenzamos un diseño nuevo. Para formar el mango de la llave, usamos un cubo. Tal como muestra la Imagen 9, utilizamos los controles blancos para obtener una estructura rectangular de 7 mm de altura, 70 mm de largo y 20 mm de ancho. Luego agregamos un cilindro y lo modificamos para que tenga 7 mm de altura y 35 mm de diámetro.



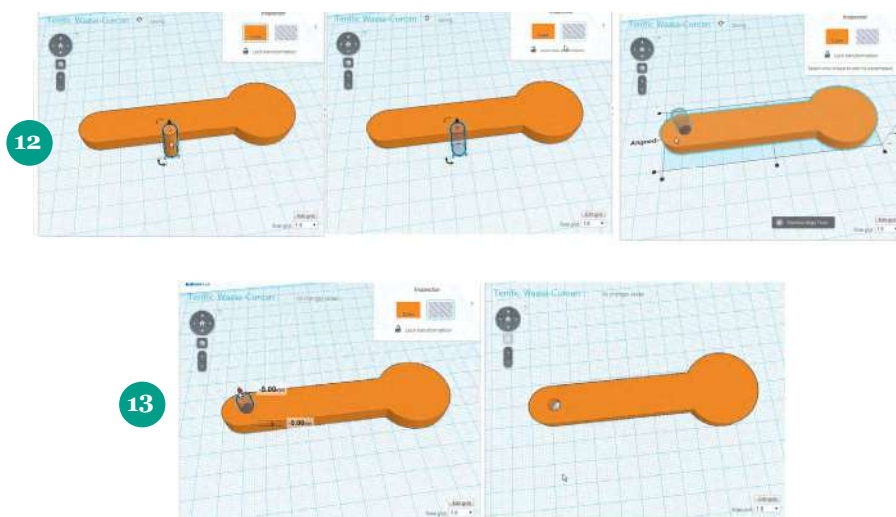
Una vez colocado el cilindro en el área de trabajo, podés utilizar la herramienta *Alinear* para ubicar los objetos correctamente. Para ello, seleccionás ambos objetos (manteniendo la tecla *Shift* presionada y haciendo clic en ambos) y luego hacés clic en *Alinear*. Aparecerán en la pantalla unos controles en forma de línea con un círculo negro al inicio. Cada una de estas líneas corresponde a una opción de alineación distinta (observá la Imagen 10 como guía para realizar la alineación).



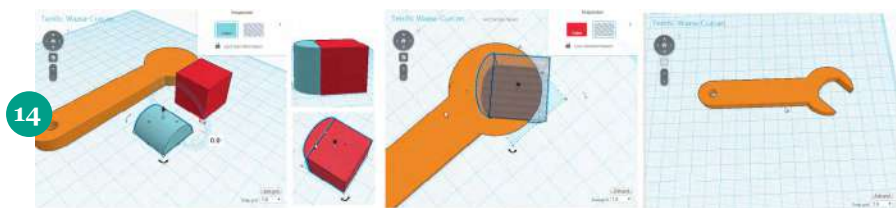
Finalmente, utilizando la opción *Agrupar* con ambos objetos seleccionados, estos se fusionan para crear un único objeto, tal como muestra la Imagen 11.



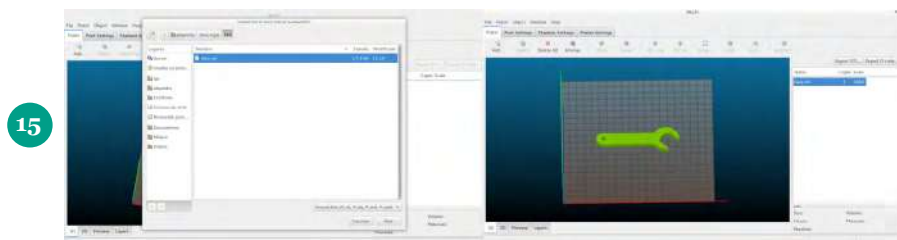
Luego agregamos otro cilindro para hacer la parte final de la llave más redondeada, dándole un tamaño de 7 mm de alto y 20 mm de diámetro, y repetimos el procedimiento (utilizando también las opciones *Alinear* y *Agrupar*). Acto seguido agregamos otro cilindro, al que le damos un diámetro de 6 mm y una altura de 10 mm, lo configuramos para que sea hueco y lo alineamos (12). Este va a ser el agujero que te permitirá, por ejemplo, colgar tu herramienta de un clavo. A continuación, movemos el cilindro hacia abajo unos milímetros para asegurarnos de que atraviesa al mango de lado a lado, y aplicamos el agujero usando la opción *Agupar* (13).



Lo único que falta es agregar la parte principal de la herramienta, el orificio que sujetará el tornillo. Antes que nada hay que decidir la medida para la cual queremos que funcione la herramienta y crear un objeto que tenga esa medida, adicionando 2 mm para evitar que la expansión del material de impresión haga imposible poner el tornillo dentro. Como muestra la Imagen 14, tenés que combinar un cubo (que respete las medidas antes mencionadas) con un techo curvo y luego transformar este nuevo objeto en un agujero. Para completarlo, solo te falta agrupar ese nuevo objeto con el cuerpo de la llave para generar el orificio de la herramienta. Y así, finalmente, ¡tenemos nuestra llave terminada!



Ahora solo resta darle el nombre. Para ello, hacé clic en el nombre actual y modificalo. Cuando quieras exportarlo, deberás acceder al menú *Exportar* y seleccionar el formato STL (ver sección anterior). Luego, en el *slicer* (en los ejemplos se utilizará el software libre Slic3r) se debe importar este archivo STL. A continuación, hay que verificar los parámetros de la impresión (*Print Setting*), del filamento (*Filament Settings*) y de la impresora (*Printer Settings*).



En cuanto a los parámetros de impresión, una configuración posible sería no usar material de soporte y establecer el tamaño de la capa en 0,3 mm (dado que no es un objeto decorativo, se puede prescindir de una mayor resolución), con 3 líneas de perímetros (para hacer más fuerte los bordes de la figura) y con un relleno (*infill*) de 15 por ciento con patrón hexagonal (*Honeycomb*), como muestra la Imagen 16.



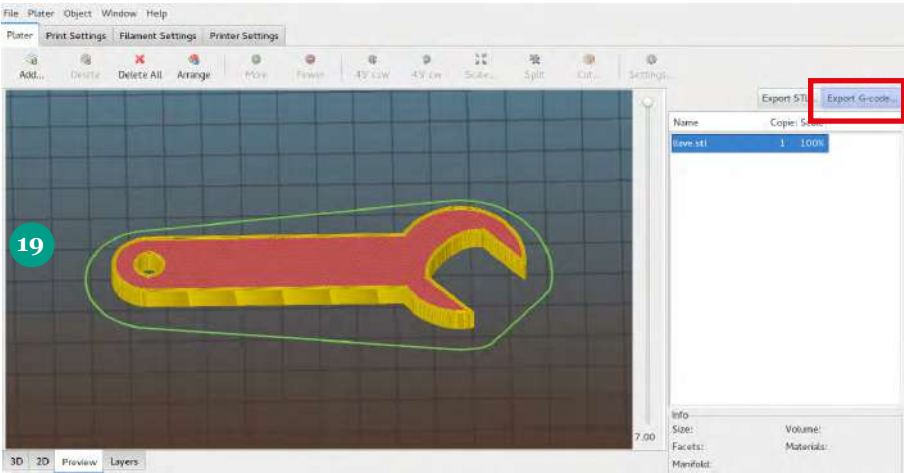
En los parámetros del filamento, simplemente configuraremos su tamaño y las temperaturas: en este ejemplo trabajaremos con un PLA y será 1,75 mm, 60 °C para la cama (*Bed*) y 180 °C para el extrusor (17).



Con respecto a las especificaciones de la impresora (*Printer Settings*), definiremos el tamaño de la cama en 200 mm por 200 mm. En cuanto al firmware, seleccionaremos el RepRap y, por último, el diámetro del extrusor en 0,4 mm (18).



Una vez configurado todo, es momento de exportar el código G (19). Ahora sí, el archivo está listo para que lo coloquemos en la tarjeta de memoria de la impresora o lo enviemos a la misma a través de un software de *host*.



5.1.4. Desafíos

A continuación, te presentamos una serie de pequeños desafíos que servirán como ejercicios para utilizar lo aprendido con el programa Tinkercad.

Desafío 1: llavero



Diseña un llavero, con algún detalle estético, para utilizar o regalarle a alguien. Acordate de hacerle un pequeño aro para poder pasar la cadena del llavero.

Cuestiones a tener en cuenta:

- 1) ¿Qué tamaño tendrá el llavero? Utilizá otros como referencia para ver cuándo se vuelven incómodos o cuándo resultan demasiado pequeños.
- 2) ¿Qué tamaño debe tener el aro? ¿Y qué grosor? Un aro muy pequeño o muy grueso impedirán que pase la argolla de metal de una llave, mientras que uno muy fino se quebrará fácilmente.
- 3) ¿Cuánto relleno es necesario para darle rigidez? Hacé pruebas donde incluyás la menor cantidad de relleno que posible y sometelas a pruebas de estrés (aplastándolas con fuerza).

Pistas: para hacer el aro utilizá dos cilindros, uno más pequeño que el otro y en formato *hole*. Podés hacer figuras planas o tridimensionales, pero siempre vas a necesitar un aro para que funcione como llavero.

Desafío 2: cortador de galletitas



Entre los distintos tipos de cortadores de galletitas, ¿cuáles son los diseños más complicados?

Cuestiones a tener en cuenta:

- 1) ¿Qué grosor deberán tener las paredes del molde para que corten bien la masa y no se rompan?
- 2) ¿Cómo hacer para que un molde, además de cortes, haga impresiones al estilo de un sello? Pista: los relieves a marcar deberían ser más bajitos que el molde de corte.
- 3) ¿Es conveniente que la parte de la base sea completamente tapada? ¿Es fácil sacar la masa si el cortador tiene tapa?

Pistas: hacé primero las partes del contorno exterior y ahuecalas después, de esta manera será más fácil completar el diseño.

Desafío 3: soporte para cargar el celular

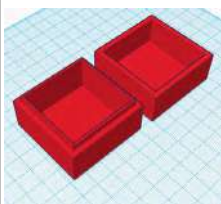


Diseñá un soporte para que tu celular pueda mantenerse en posición vertical y no se caiga sobre la mesa. Este es un proyecto más complicado que los anteriores, ya que debés tener en cuenta el tamaño de objetos preexistentes y otras cuestiones como:

- 1) ¿Qué tamaño deberá tener el orificio para el celular?
- 2) ¿Cómo hacer para introducir el celular cómodamente?
- 3) ¿Es lo suficientemente pesado para mantenerse erguido? ¿Necesitará algún soporte extra?

Pistas: es conveniente contar con una representación digital de los objetos que serán introducidos en el soporte, como el celular o la ficha del cargador. Si tenés las medidas precisas, será mucho más sencillo hacer los huecos para que entren cómodamente. Utilizá una regla para medir los objetos del mundo real.

Desafío 4: caja con tapa encastrable



Diseñá una caja con una tapa encastrable, de manera que la puedas colocar y que no se salga fácilmente.

Cuestiones a tener en cuenta:

- 1) ¿Qué diferencia de tamaño deberán tener las tapas?
- 2) ¿A qué se debe esta diferencia?

Pistas: el tamaño del encastre y la parte encastrable no puede ser el mismo, hacé algunas pruebas a pequeña escala para encontrar las medidas ideales.

5.2. PROYECTO EN OPENSCAD

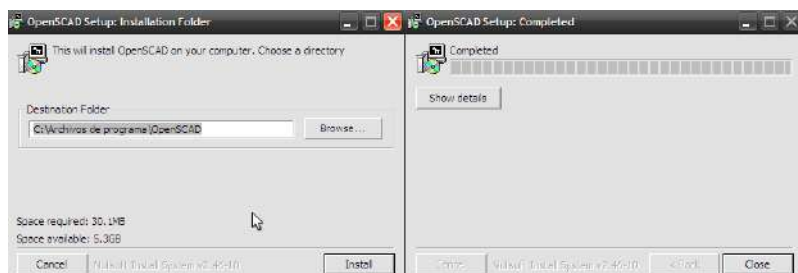
OpenSCAD es un software gratuito y de código abierto para crear objetos 3D basándose en un lenguaje descriptivo. Los objetos se generan a través de una combinación de figuras geométricas básicas, operaciones booleanas y transformaciones. Este software presenta dos grandes ventajas: por un lado, determina los objetos de forma precisa mediante sus dimensiones y, por otro, facilita la tarea de crear objetos 3D paramétricos.

El software se encuentra disponible para Linux, Windows y Mac y se puede descargar desde su página oficial: <www.openscad.org/downloads.html>.

5.2.1. Instalación

La instalación del programa es muy sencilla. En Windows, basta con descargar el instalador, ejecutarlo y seguir los pasos del mismo (20).

20



En Linux, por ejemplo en Ubuntu, tendrás que usar el instalador de paquetes APT y ejecutar la siguiente línea en una terminal:

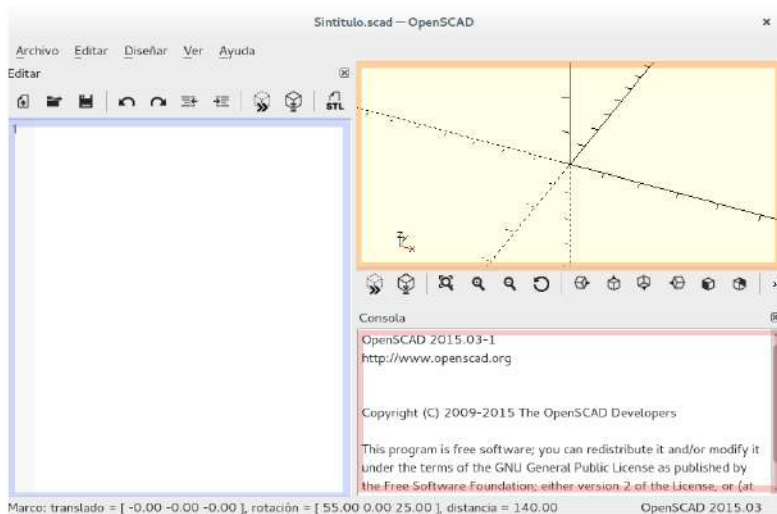
Código para instalar Openscad

```
sudo add-apt-repository ppa:openscad/releases
sudo apt-get update
sudo apt-get install openscad
```

5.2.2. Primeros pasos

La interfaz de OpenSCAD se divide en tres partes (21): el sector delimitado en azul es donde se coloca el código que define nuestro objeto 3D; el sector naranja permite visualizar el objeto; y el sector marcado en rojo es la salida que produce el procesamiento del código de OpenSCAD.

21



El código, como se señaló, es un conjunto de instrucciones que crean primitivas gráficas a las cuales se les aplican transformaciones. Por ejemplo, el siguiente programa es capaz de generar una llave fija similar a la desarrollada con el software Tinkercad.

Estructura básica de un programa de OpenSCAD

```
instruccion1;
instruccion2;
instruccionN;
```

Código OpenScad: llave.scad

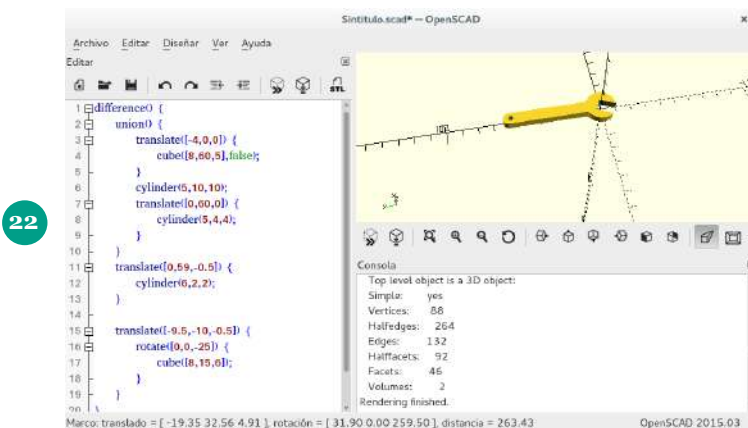
```
difference() {
    union() {
        translate([-4,0,0]) {
            cube([8,60,5],false);
        }

        cylinder(5,10,10);
        translate([0,60,0]) {
            cylinder(5,4,4);
        }
    }

    translate([0,59,-0.5]) {
        cylinder(6,2,2);
    }

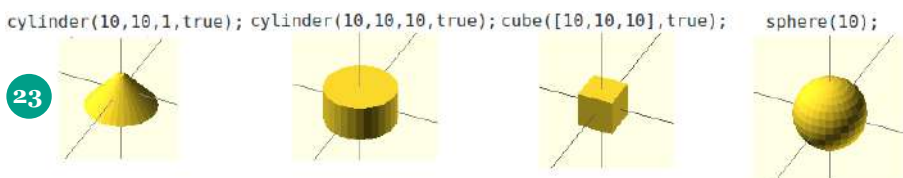
    translate([-9.5,-10,-0.5]) {
        rotate([0,0,-25]) {
            cube([8,15,6]);
        }
    }
}
```

Copιά y pegá el código superior “llave.scad” en OpenSCAD y presioná F6 para renderizarlo (o sea, para ver el resultado de la compilación del código). Acto seguido, en la pantalla de previsualización aparecerá la llave (Imagen 22). Podés usar el mouse para girar la vista (clic izquierdo), desplazar la misma (clic derecho) o hacer zoom (con la ruedita del mouse).



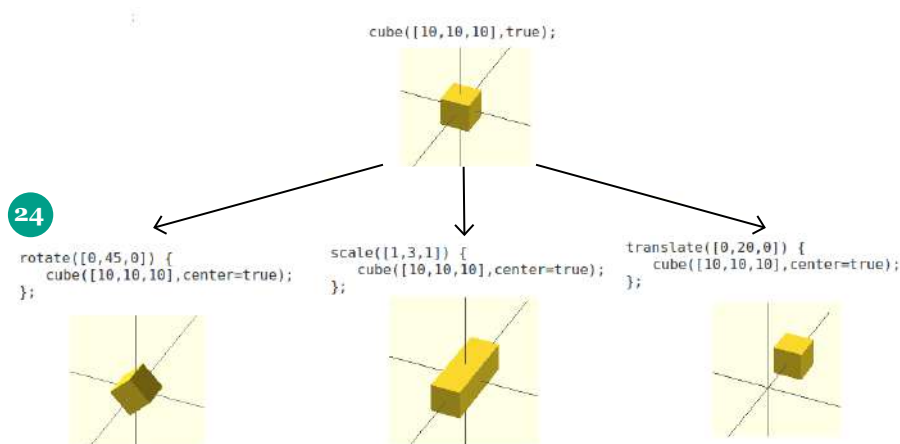
Para exportar un archivo STL desde OpenSCAD, hacé clic en el ícono STL, en la pantalla de menú. Dentro del código existen tres elementos muy importantes (aunque no los únicos): las primitivas geométricas, las transformaciones y las operaciones booleanas.

Las primitivas geométricas comprenden las funciones responsables de generar las formas 3D, a las cuales podemos aplicarles transformaciones u operaciones booleanas. Las más importantes son *cylinder*, para crear cilindros y conos, *cube*, para crear cubos y prismas rectangulares, y *sphere*, para esferas. En la Imagen 23, se puede ver un ejemplo de cada una de ellas. Los códigos para generar estas figuras son funciones, es decir pequeños programas que reciben parámetros y producen una respuesta ante ellos.

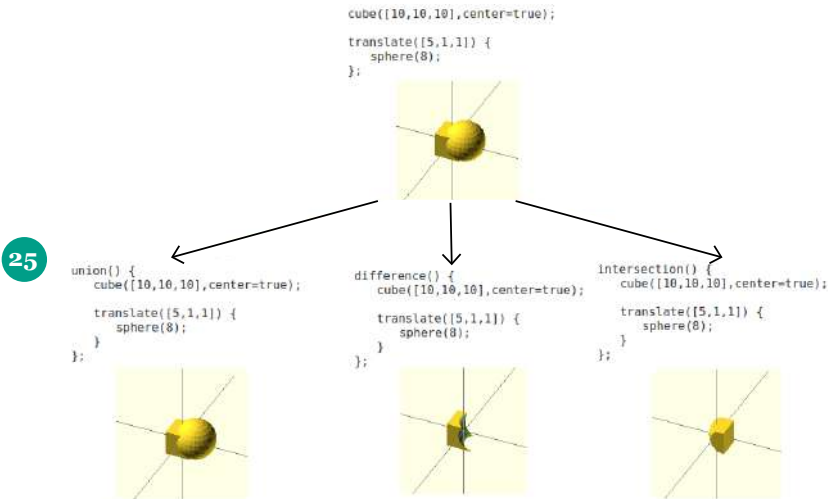


En el caso de la función *sphere*, por ejemplo, el número 10 es el parámetro que indica cuantos milímetros de radio debe tener. En el caso de la función *cube*, recibe de parámetros las dimensiones encerradas entre corchetes [10,10,10] y si la figura debe ir centrada o no.

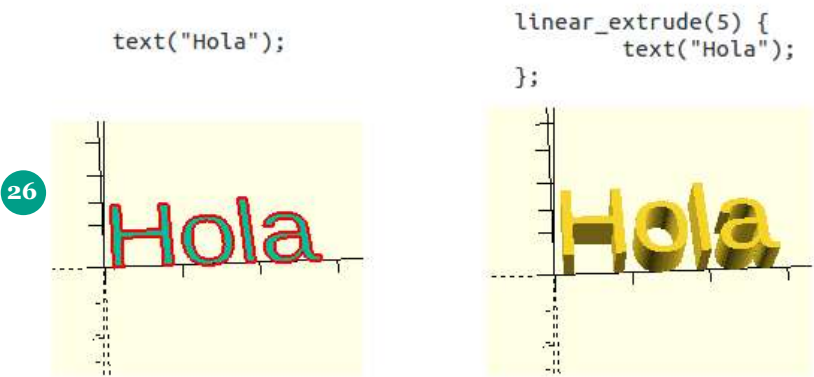
En cuanto a las transformaciones, las más importantes son *translate* (para mover objetos), *rotate* (para girarlos) y *scale* (para cambiar la escala). En la imagen 24 se ve el efecto de cada una cuando se le aplica a un cubo. Las transformaciones también son funciones que reciben parámetros pero que, además, se aplican sobre todo aquello que quede encerrado entre las llaves que las siguen: “{}”.



Las operaciones booleanas, por último, son solamente tres: *union* (para unir objetos), *difference* (para restar figuras, quitándole a una la forma de la siguiente) e *intersection* (para hacer una figura a partir de las partes que coinciden entre los objetos involucrados). En la Imagen 25 se puede ver el efecto de cada una de ellas aplicadas a dos objetos, un cubo y una esfera.



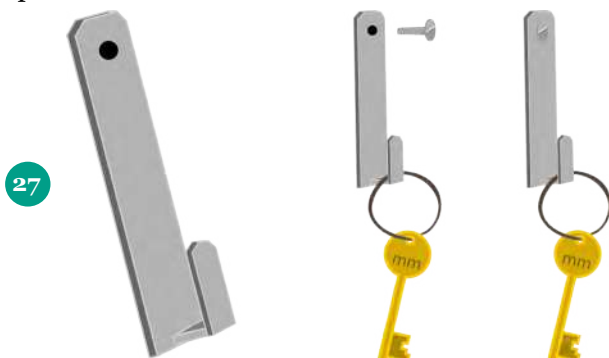
También es posible generar un texto. Para ello se usa la función *text*, colocando un mensaje o palabra entre comillas y paréntesis, como muestra la Imagen 26. Para convertir un texto bidimensional en un objeto 3D, es necesario utilizar la transformación *linear_extrude*.



Podés encontrar un excelente material de referencia acerca de las distintas funciones disponibles en la página oficial de OpenSCAD: <www.openscad.org/cheatsheet/index.html>. Todo quedará más claro en el proyecto siguiente, donde se explica cómo crear una figura, paso a paso.

5.2.3. Un proyecto simple: gancho

En este proyecto vamos a fabricar un gancho para colgar las llaves utilizando OpenSCAD. Usando la Imagen 27 como inspiración, inicialmente crearemos un artefacto para colgar una sola llave, que tendrá un pequeño agujero para amurarlo a la pared.

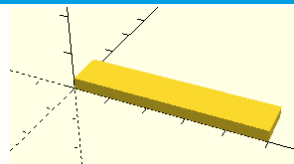


Comenzaremos creando la pieza más larga, utilizando un cubo. Las dimensiones serán 50 mm de largo, 10 mm de ancho y 3 mm de alto. Con la función *cube*, podemos crear la base inicial (28). Vale aclarar que el texto escrito después de las dos barras inclinadas es un comentario que OpenSCAD no procesa pero nos sirve como guía para poder entender nuestros propios programas. Como ves, cada una de las líneas termina con “;” y esto es obligatorio para que el código funcione.

Código OpenScad: gancho_parte1

28

```
cube([50,10,3]); // parte principal de la base
```

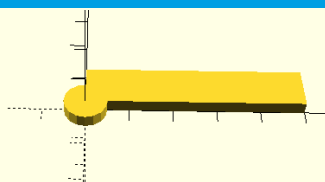


Una vez creada la base, podemos agregar un cilindro para redondear el borde superior. Deberá tener 3 mm de alto, 5 mm de radio superior y 5 mm de radio inferior (29).

Código OpenScad: gancho_parte2

29

```
cube([50,10,3]); // parte principal de la base
cylinder(3,5,5); // redondeo superior
```

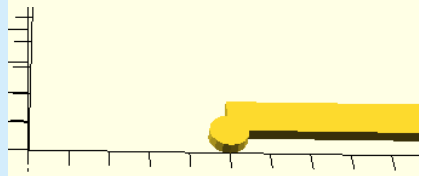


Para mover el cilindro hacia el tope, tendrás que usar la función *translate* con los siguientes parámetros: [50,5,0]. Esto significa que se lo desplaza los 50 mm que mide de largo el cubo (moviéndolo horizontalmente hasta su extremo) y 5 mm en profundidad, que corresponden a la mitad del ancho del cubo del cual partimos. La transformación será aplicada a aquello que se encuentre entre las llaves. Si encerramos el código completo entre llaves, se desplazará todo (30).

Código OpenSCAD: gancho_parte3

30

```
translate([50,5,0]) { // redondeo de la parte superior
  cube([50,10,3]); // parte principal de la base
  cylinder(3,5,5);
}
```

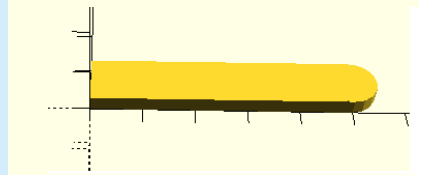


Sin embargo, solo necesitamos desplazar el cilindro, así que encerramos entre llaves únicamente la línea *cylinder* (31).

Código OpenSCAD: gancho_parte4

31

```
cube([50,10,3]); // parte principal de la base
translate([50,5,0]) { // redondeo de la parte superior
  cylinder(3,5,5);
}
```

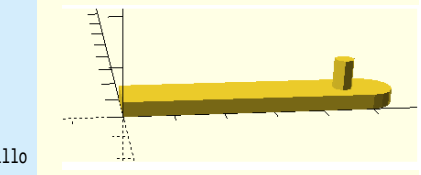


Lo siguiente será agregar el orificio por el cual va a pasar el tornillo. Para ello, creamos otro cilindro que sea un poco más alto que la base y lo ubicamos cerca del extremo redondeado (32).

Código OpenSCAD: gancho_parte5

32

```
cube([50,10,3]); // parte principal de la base
translate([50,5,0]) { // redondeo de la parte superior
  cylinder(3,5,5);
}
translate([45,5,-1]) { // tamaño del agujero para el tornillo
  cylinder(10,2,2);
}
```

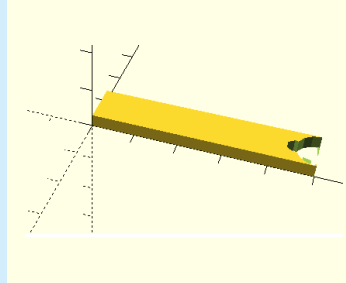


Como se ve, el cilindro lo desplazamos -1 mm, así queda un poco por debajo de la base y al aplicarle la resta (*difference*) la atraviesa de lado a lado. Para hacer el orificio, por lo tanto, usaremos la transformación *difference*, encerrando entre llaves todos los objetos a restar (33).

Código OpenSCAD: gancho_parte6

33

```
difference() {
  cube([50,10,3]); // parte principal de la base
  translate([50,5,0]) { // redondeo de la parte superior
    cylinder(3,5,5);
  }
  translate([45,5,-1]) { //tamaño del agujero para el tornillo
    cylinder(10,2,2);
  }
}
```

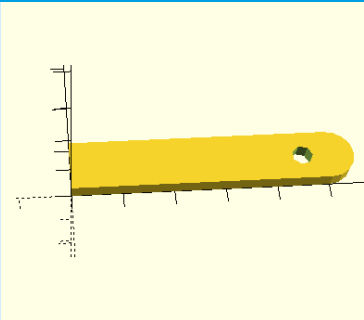


El resultado de la transformación no es lo que esperábamos. Al cubo se le han restado ambos cilindros. Esto se explica por cómo funciona *difference*: al primer objeto se le aplica la resta de todos los que siguen, es decir que a *cube* [50,10,3] se le restan *cylinder* (3,5,5) (desplazado) y *cylinder* (10,2,2) (desplazado). Para obtener lo que deseamos, deberíamos primero unir el cilindro más grande (el del tope) con la base y luego aplicar la diferencia con el cilindro más pequeño (el del agujero para el tornillo), tal como muestra la Imagen 34.

Código OpenSCAD: gancho_parte7

34

```
difference() {
  union() {
    cube([50,10,3]); // parte principal de la base
    translate([50,5,0]) { // redondeo de la parte superior
      cylinder(3,5,5);
    }
  }
  translate([45,5,-1]) { //tamaño del agujero para el tornillo
    cylinder(10,2,2);
  }
}
```



Bien, ahora llega el momento de trabajar con el gancho propiamente dicho. Para que sea más ordenado, esta parte del código aparecerá después del comentario “//GANCHO”. Primero crearemos un pequeño cubo para separarlo de la base (35). Luego, crearemos un segundo cubo perpendicular al anterior (36). Así habremos terminado nuestro pequeño y sencillo gancho para las llaves. El siguiente desafío podría ser que el gancho cambie de forma según cuántas llaves queramos colgar en él. Para ello, tendrás que convertir al gancho en un objeto paramétrico.

Código OpenSCAD: gancho_parte8

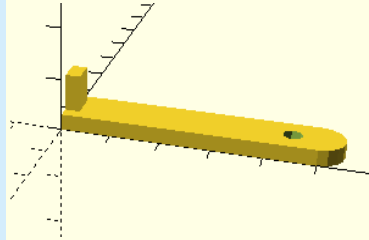
35

```

union() { //todo el colgante
    //BASE
    difference() { //base con agujero
        union() { //base
            cube([50,10,3]); // parte principal
                                // de la base
            translate([50,5,0]) { // redondeo de la
                                    // parte superior
                cylinder(3,5,5);
            }
        }
        translate([45,5,-1]) { //tamaño del agujero
                                // para el tornillo
            cylinder(10,2,2);
        }
    }

    // GANCHO
    union() { //gancho
        translate([0,2.5,0]) { //separa el gancho
            cube([3,5,10]);
        }
    }
}
}

```



Código OpenSCAD: gancho_terminado

36

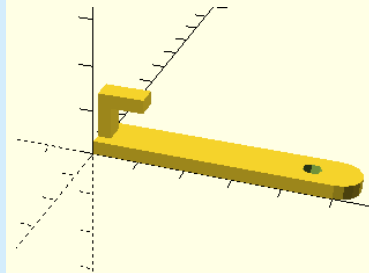
```

union() { // todo el colgante
    //BASE
    difference() { //base con agujero
        union() { //base
            cube([50,10,3]); // parte principal
                                // de la base
            translate([50,5,0]) { // redondeo de la
                                    // parte superior
                cylinder(3,5,5);
            }
        }
        translate([45,5,-1]) { //tamaño del agujero
                                // del tornillo
            cylinder(10,2,2);
        }
    }

    // GANCHO
    union() { //gancho
        translate([0,2.5,0]) { //separa el gancho
            cube([3,5,10]);
        }

        translate([0,2.5,10]) { //parte superior
                                // del gancho
            cube([10,5,3]);
        }
    }
}
}

```



5.2.4. Un proyecto paramétrico: taza

Para crear un objeto paramétrico es necesario que aprendás algunos conceptos básicos de programación. La idea es generar una función como *cube*, que crea cubos recibiendo como parámetro sus medidas, pero aplicada a diferentes objetos personalizados, por ejemplo “silla”, “tapa” o “taza” como en este proyecto.

Estructura básica variable

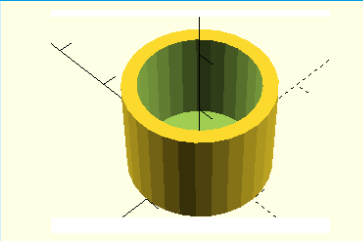
nombreVariable = valor

La taza paramétrica cambiará de tamaño dependiendo de un valor que pasaremos como parámetro. El primer paso es crear una taza como lo haríamos normalmente (37).

Código OpenSCAD: tazav1

37

```
difference() {
  cylinder(15,10,10);
  translate([0,0,1]) {
    cylinder(15,8,8);
  }
}
```



Otra posibilidad sería utilizar una variable para definir el diámetro: una variable es un lugar en la memoria principal de la computadora en el cual podemos guardar datos y sacarlos usando su nombre. Los nombres de las variables (y de las funciones, también) solo pueden estar compuestos por letras, números y los símbolos “-” o “_”. Además, deben comenzar siempre con una letra y evitar el uso de acentos o diéresis.

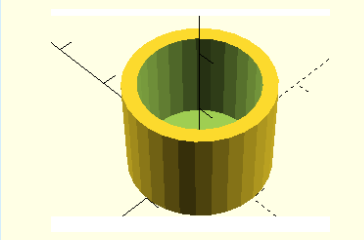
Ejemplos de nombres de variables	
pato	Bien
tabla1	Bien
1tabla	Mal, debe comenzar con una letra
c12	Bien
Acción	Mal, incluye un acento
Tapa_2	Bien
casa:23	Mal, incluye el símbolo “:”

En las variables se pueden guardar distintos tipos de datos: caracteres, textos o números. Para seguir con el ejemplo de la taza (38), crearemos una variable llamada “diametro” y le asignaremos un valor inicial de 10. Cada vez que pongamos la palabra “diametro”, entonces, es como si pusiéramos el número 10 (es el valor que tiene asignado). Para crear el cilindro interior de la taza, que corresponde al orificio, utilizamos “diametro-2”, que es igual a 8 (o a 10 menos 2).

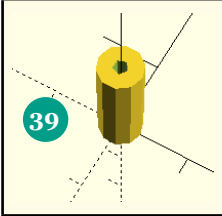
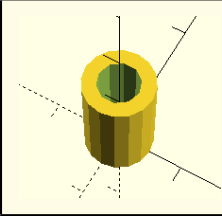
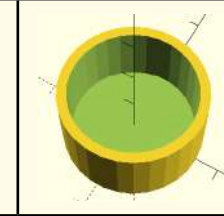
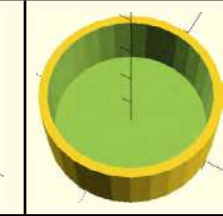
Código OpenSCAD: tazav2

38

```
diametro = 10;
difference() {
  cylinder(15,diametro,diametro);
  translate([0,0,1]) {
    cylinder(15,diametro-2,diametro-2);
  }
}
```



¿Pero qué ocurre si cambiamos el valor de la variable? Como se puede observar, al variar ese valor, el tamaño de la taza también varía (39).

diametro = 3	diametro = 5	diametro = 15	diametro = 20
39 			

A una variable también podemos asignarle el resultado de una operación matemática, por ejemplo:

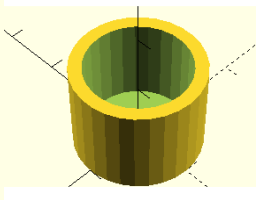
Ejemplos de asignación de variables	
diametro = 5	diametro vale 5
diametro = 10 * 5 + 10	diametro vale 60
diametro = 10/2	diametro vale 5
altura = 90/18	altura vale 5
diametro = altura * 5	diametro vale 25

Del mismo modo, en el código podemos reemplazar el número 15 por una variable que determine la altura de nuestra taza (40).

Código OpenSCAD: tazav3

40

```
diametro = 10;
altura = 15
difference() {
  cylinder(altura,diametro,diametro);
  translate([0,0,1]) {
    cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
  }
}
```



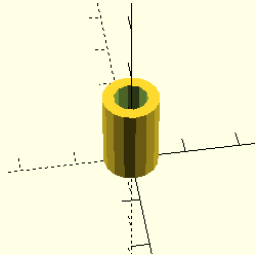
Llegó el momento de crear la función “taza” (por ahora sin manija) para que cada vez que la utilizemos se genere una taza distinta. Para ello, haremos uso de una estructura OpenSCAD llamada *module*, que permite asignarle un nombre y parámetros a una función, como se ve en la Imagen 41.

Código OpenSCAD: tazav4

41

```
module taza(diametro, altura) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
}

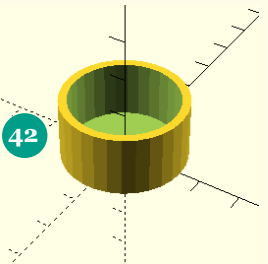
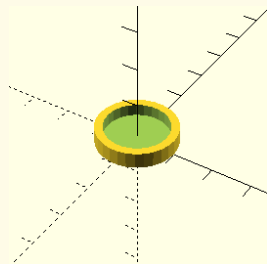
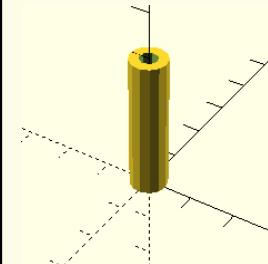
taza(5,15);
```



Estructura básica *module*

```
module (parametro1, parametro2, parametroN) {
  acciones;
}
```

Acabamos de crear un módulo (o *module*) llamado “taza”, que tiene dos parámetros: el del diámetro y el de la altura. Luego se utiliza este módulo, asignando el valor de “diametro” y “altura”. Podemos comprobar cómo, al ejecutarlo con diferentes valores (42), se modifica la morfología de la taza. Por lo tanto, acabamos de crear nuestro primer objeto paramétrico!

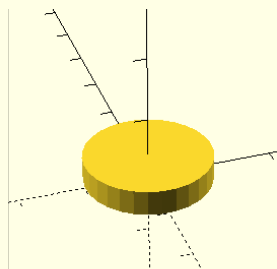
taza(15,15)	taza(10,4)	taza(4,30)
42 		

Pero todavía nos falta hacerle una manija. Para eso, utilizaremos otro de los artilugios con los que cuenta OpenSCAD, la información de *debug*: esta nos sirve para encontrar problemas en el programa y ayudarnos a construirlo. En el caso de los códigos OpenSCAD, la información de *debug* está relacionada con la visualización de las figuras (mostrarlas, ocultarlas, cambiar su transparencia). Por ejemplo, el símbolo “!” se utiliza para hacer visible una figura mientras se oculta a las demás. En este punto del proyecto, ocultar la taza permitiría observar solo el cilindro con el que vamos a construir la manija. En las siguientes imágenes, podemos ver cómo afecta la visualización tener el signo “!” (43) o no tenerlo (44).

Código OpenSCAD: tazav5

43

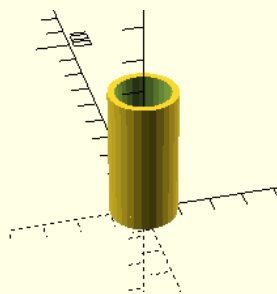
```
module taza(diametro, altura) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
  //MANIJA
  diametroManija = 10;
  !cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
}
taza(10,40);
```



Código OpenSCAD: tazav6

44

```
module taza(diametro, altura) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
  //MANIJA
  diametroManija = 10;
  cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
}
taza(10,40);
```



Al nuevo cilindro que hemos creado vamos a restarle otro cilindro, para luego cortarlo a la mitad. Para eso haremos uso del signo “#”, que nos permite ver como semitransparentes algunos objetos. En la imagen 45 se muestra cómo se utilizan el signo “!” en la diferencia y el signo “#” en el cilindro más pequeño.

Código OpenSCAD: tazav7

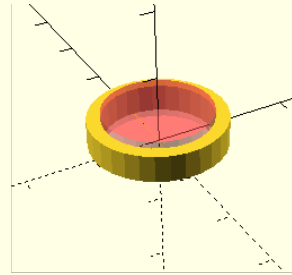
45

```

module taza(diametro, altura) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
  //MANIJA
  diametroManija = 10;
  !difference() {
    cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
    translate([0,0,-1]) {
      #cylinder(6,diametroManija-2,diametroManija-2);
    }
  }
};

taza(10,40);

```



El siguiente paso consiste en partir ese círculo a la mitad para completar la manija de la taza (46) y luego posicionarla.

Código OpenSCAD: tazav8

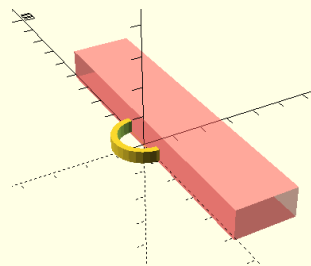
46

```

module taza(diametro, altura) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
  //MANIJA
  diametroManija = 10;
  !difference() {
    cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
    translate([0,0,-1]) {
      cylinder(6,diametroManija-2,diametroManija-2);
    }
    #translate([0,-50,-1]) {
      cube([20,100,10]);
    }
  }
};

taza(10,40);

```



Por último, giraremos nuestra manija y la pondremos en posición utilizando las transformaciones *rotate* y *translate* (47).

Código OpenSCAD: tazav9

47

```
module taza(diametro, altura) {
    difference() {
        cylinder(altura,diametro,diametro);
        translate([0,0,1]) {
            cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
        }
    }
    //MANIJA
    diametroManija = 10;
    translate([-diametro,2,altura/2]) {
        rotate([90,0,0]) {
            difference() {
                cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
                translate([0,0,-1]) {
                    cylinder(6,diametroManija-2,diametroManija-2);
                }
            }
            translate([0,-50,-1]) {
                cube([20,100,10]);
            }
        }
    }
}

taza(10,40);
```

Aquí, las variables “altura” y “diametro” se utilizaron para colocar la manija en la posición correcta, adaptándose al tamaño de la taza. También puede ser útil elegir si se crea o no una manija. Para lograrlo, deberemos usar un nuevo tipo de dato en las variables y agregar una estructura de control del programa. Las estructuras de control son instrucciones especiales que permiten que el programa tome decisiones sobre si debe ejecutar o no cierta parte del código. Para realizar esta elección se utiliza un dato de tipo booleano, que contempla solamente dos valores: “true” o “false”, es decir verdadero o falso. Por ejemplo, los resultados de las siguientes operaciones determinan valores de verdad:

1 > 2	False (falso)	¿Uno es mayor que dos?
4 > 3	True (verdadero)	¿Cuatro es mayor que tres?
a = 10 b = 15 a > b	False (falso)	¿El valor de la variable “a” es mayor que el de la variable “b”?
a = 14 b = 2*7 a == b	True (verdadero)	¿El valor de la variable “a” es el mismo que el de la variable “b”?

Las operaciones que se pueden realizar para comparar números en Open SCAD son:

>	Mayor
>=	Mayor o igual
<	Menor
<=	Menor o igual
==	Igual
!=	Distinto

También se pueden aplicar operaciones a los datos booleanos:

a or b	Es un “o” lógico: es verdadero si cualquiera o ambos valores son verdaderos
a and b	Es el “y” lógico: es verdadero solo si a y b son verdaderos
not(a)	Es la negación: solo es verdadero cuando a es falso

Para ver un ejemplo de aplicación de estas operaciones, se puede realizar el ejercicio de ejecutarlas y ver cuál sería su resultado para el programa.

Operación	Resultado
true and true	Es true, ambos son verdaderos
true and false	Es falso, uno de los valores es falso
true or false	Es true, hay uno que es verdadero
true or true	Es true, ambos valores son verdaderos
false or false	Es falso, no hay un valor verdadero
not(false)	Es verdadero, la negación invierte el valor de verdad
(10 > 5) and (4 > 10)	Por un lado, (10 > 5) es true. Por otro, (4 > 10) es false. Por lo tanto, (10 > 5) and (4 > 10) es igual a true and false, por lo cual es falso.
not((10 > 5) and (4 > 10))	Es verdadero, es la negación del ejemplo anterior
(4 >= 4) or (45 < 1)	Es verdadero, ya que (4 >= 4) es verdadero y (45 < 1) es falso. Por lo tanto: (4 >= 4) or (45 < 1) es igual a true or false, por lo tanto es verdadero.

<pre>a = 10 b = 5 c = 4 (a == b) or (a < c)</pre>	a == b, es lo mismo que 10 == 4, lo que es falso. a < c es lo mismo que 10 < 4, lo cual es falso. Finalmente, falso or falso da por resultado falso.
--	---

Los datos booleanos también son útiles para crear estructuras de control de flujo conocidas como *if* o condicionales. Estas estructuras nos permiten ejecutar código solo si se cumple –o no se cumple– una condición.

Estructura básica if

```
if (condicion) {
  instruccion1;
  instruccion2;
  instruccionN;
}
```

Veamos un ejemplo, creando un módulo llamado “dibujarCuboSiMayorA10”, que lo que hará es recibir como parámetro un número. Si este número es mayor a 10, dibujará un cubo con la instrucción *cube* ([10,10,10]);

Código OpenSCAD: EjemploIf

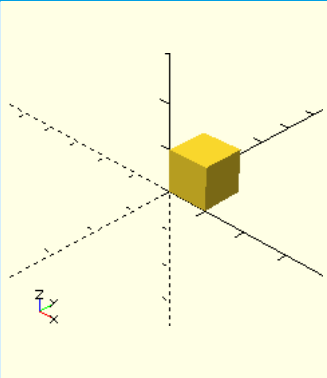
```
module dibujarCuboSiMayorA10(a) {
  if (a > 10) {
    cube([10,10,10]);
  };
}
```

Bien, probemos qué ocurre al ejecutar el módulo “dibujarCuboSiMayorA10” con diferentes valores (Imágenes 48 y 49).

Ejecución del módulo dibujarCuboSiMayorA10

48

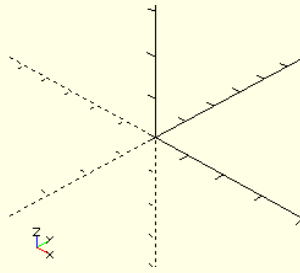
dibujarCuboSiMayorA10(15)



La condición a > 10 es, en este caso, 15 > 10 (verdadero), se ejecuta la línea “cube([10,10,10]);”.

49

dibujarCuboSiMayorA10(1)



La condición $a > 10$ es, en este caso, $1 > 10$ (falso), no se ejecuta la línea “cube([10,10,10]);” y por lo tanto tampoco se ve nada en pantalla.

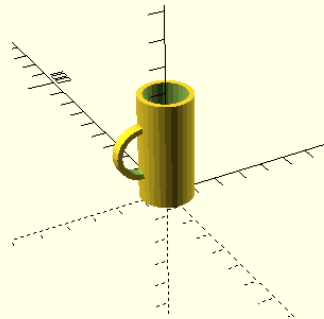
Bien, ahora que acabamos con lo básico de la estructura *if*, podemos integrarla para que en el módulo “taza” se pueda elegir, con true o false, si se quiere o no agregar una manija (50).

Código OpenSCAD: tazav10

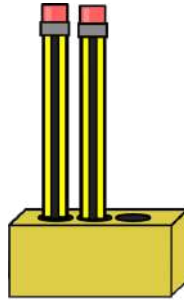
50

```
module taza(diametro, altura, tieneManija) {
  difference() {
    cylinder(altura,diametro,diametro);
    translate([0,0,1]) {
      cylinder(altura,diametro-2,diametro-2);
    }
  }
  //MANIJA
  if (tieneManija) {
    diametroManija = 10;
    translate([-diametro,2,altura/2]) {
      rotate([90,0,0]) {
        difference() {
          cylinder(4,diametroManija,diametroManija);
          translate([0,0,-1]) {
            cylinder(6,diametroManija-2,diametroManija-2);
          }
          translate([0,-50,-1]) {
            cube([20,100,10]);
          }
        }
      }
    }
  }
}

taza(10,40,true);
```



5.2.5. Otro proyecto paramétrico: portalápices

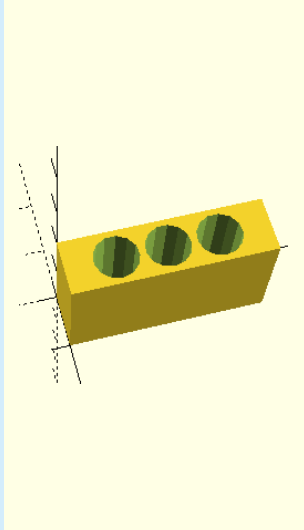


Vamos a avanzar en la construcción de un segundo objeto paramétrico, esta vez utilizando una estructura de control llamada ciclo *for*. Primero, empezaremos haciendo el portalápices como hasta ahora, usando variables y módulos.

Código OpenSCAD: PortalapicesV1

51

```
module portalapices(lapices) {
    diametroLapiz = 4;
    separacionentreLapices = 5;
    difference() {
        cube([10,(lapices+1)*
(separacionentreLapices+diámetroLapiz),20]);
        translate([5,separacionentreLapices+diámetroLapiz,1]) {
            cylinder(20,diámetroLapiz,diámetroLapiz);
        }
        translate([5,2*(separacionentreLapices+diámetroLapiz),1]) {
            cylinder(20,diámetroLapiz,diámetroLapiz);
        }
        translate([5,3*(separacionentreLapices+diámetroLapiz),1]) {
            cylinder(20,diámetroLapiz,diámetroLapiz);
        }
    }
}
portalapices(3);
```



El tamaño del cubo base debe tener el tamaño suficiente para que quepan todos los agujeros y la separación que hay entre ellos. Por lo tanto, para determinar sus dimensiones es necesario realizar la siguiente operación matemática: la cantidad de lápices, más uno, se multiplica por el diámetro de un lápiz más la separación que debe haber entre ellos. Sin embargo, según el código escrito, aunque el módulo tenga más o menos lápices, siempre se harán solo 3 huecos. Para evitar escribir manualmente cada uno de los cilindros que funcionarán como huecos del portalápices, nos sirve especialmente usar el ciclo *for*. Esta estructura lo que hace es ejecutar un mismo código siempre y cuando se cumpla una condición.

Estructura básica for

```
for ( variable = [valorInicial:valorFinal] ) {
    instruccion1;
    instruccion2;
    instruccionN;
}
```

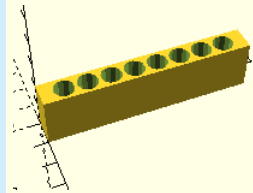
Como se ve en la imagen 52, el código se repite siempre y cuando la variable “i” sea menor a la variable “lapices”. La variable “i” comienza con valor 1 (como muestra el corchete) y va aumentando su valor, de uno en uno, cada vez que se ejecuta el código que se encuentra encerrado entre llaves. En este caso, las instrucciones que se repiten son las que corresponden la creación de un cilindro, que es desplazado según el valor de la variable “i” multiplicada por la separación de los lápices más el diámetro de cada lápiz. Es lo mismo que habíamos escrito manualmente, pero ahora el ciclo *for* se encarga de repetir y aumentar el valor. Por lo tanto, el código encerrado entre {}, después del *for*, se ejecutará en el ejemplo ocho veces: la primera vez, la variable “i” valdrá 1; la segunda, 2; y así hasta llegar al valor 8, que es cuando terminará de ejecutarse.

Código OpenSCAD: PortalapicesV2

52

```
module portalapices(lapices) {
    diametroLapiz = 4;
    separacionentreLapices = 5;
    difference() {
        cube([10,(lapices+1)*(separacionentreLapices+diametroLapiz),20]);
        for (i = [1:lapices]) {
            translate([5,i*(separacionentreLapices+diametroLapiz),1]) {
                cylinder(20,diametroLapiz,diametroLapiz);
            }
        }
    }
}

portalapices(8);
```



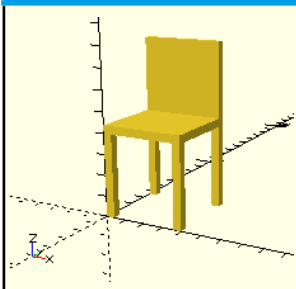
Ahora sí, has concluido con la introducción a OpenSCAD y los objetos paramétricos. Estas secciones exploraron las posibilidades y herramientas básicas que ofrece este programa a la hora de construir objetos digitales 3D. No obstante, hay mucho más por descubrir. La documentación en línea del software, incluido un tutorial traducido al castellano,³ es una de las vías para que continúes con el aprendizaje.

3. Ver: <<https://es.wikibooks.org/wiki/OpenSCAD>>.

5.2.6. Desafíos OpenSCAD

A continuación se presentan una serie de pequeños desafíos que servirán como ejercicios para utilizar lo aprendido con el programa OpenSCAD:

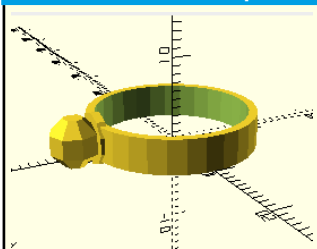
Desafío 1: silla



Diseña una silla, con cuatro patas y un respaldo, pero de tamaño pequeño, como para utilizarla en la maqueta de un proyecto de arquitectura.

Pistas: utilizá solamente cubos y aprovechá las funciones translate para posicionarlos.

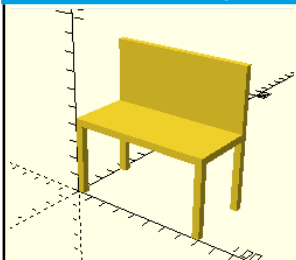
Desafío 2: anillo paramétrico



Diseña un módulo llamado “anillo” que permita realizar un anillo paramétrico. Hacé que reciba el radio del dedo como parámetro y que genere el anillo del tamaño indicado. ¿Te animás a agregar un decorado?

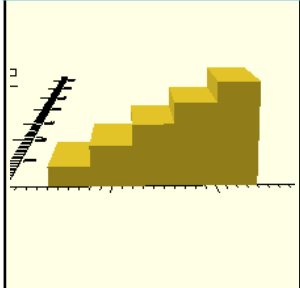
Pistas: utilizá dos cilindros, uno más pequeño que el otro, y hacé la diferencia entre ellos. Para el decorado, investiga en internet acerca del parámetro “\$fn” en OpenSCAD.

Desafío 3: silla paramétrica



A partir del Desafío 1, generá una versión paramétrica de la “silla” permitiendo que se configure el alto de las patas, así como el alto y el ancho del asiento. Además, el módulo silla debe dar la posibilidad de que tenga o no un respaldo.

Pistas: utilizá el ejemplo de la taza para integrar una variable booleana que genere o no el respaldo según sea necesario.

Desafío 4: una escalera paramétrica	
	Escribí un módulo llamado “escalera”, que reciba como parámetro la cantidad de escalones y el alto de los escalones, y que genere la sucesión de escalones.
Pistas: utilizá la estructura <i>for</i> como en el ejemplo del portalápices para crear tantos escalones como sean requeridos.	

La impresión 3D en las aulas

En los últimos años, distintos referentes han coincidido en que el diseño y la fabricación digital pueden utilizarse en ambientes educativos. En el informe Horizon 2015 (Johnson *et al.*, 2015), un documento elaborado por The New Media Consortium y Educause Learning Initiative, ya se identificaba a la impresión 3D como una de las tendencias clave en incorporación de tecnología educativa tanto en el nivel primario como en el secundario:

Horizonte	Tendencias
A corto plazo (próximos doce meses)	Traé tu propio dispositivo (<i>bring your own device</i> , BYOD) y talleres creativos (<i>makerspaces</i>)
A medio plazo (dos o tres años)	Impresión 3D y tecnologías de aprendizaje adaptativo (<i>adaptive learning technologies</i>)
A largo plazo (cuatro o cinco años)	Insignias digitales (<i>digital badges</i>) y tecnología vestible (<i>wearable technology</i>)

Otro elemento a destacar dentro del informe era el señalamiento de un cambio de rol en los estudiantes, ya que advertían una transformación (aún en su etapa inicial) de consumidores a creadores. En este sentido, las prácticas de diseño y de fabricación digital pueden posibilitar cambios que promuevan la creatividad conjuntamente con la adquisición de habilidades productivas.

En la versión 2017 del mismo informe (Adams Becker *et al.*, 2017) se reitera que las tecnologías que están ingresando en las aulas de esos niveles educativos corresponden a prácticas relacionadas con talleres creativos y robótica: los primeros acercan a las instituciones educativas a modos adicionales de

enseñar y de aprender, y además constituyen un buen medio para incentivar a los estudiantes y a los docentes a poner en práctica sus ideas y explorar caminos donde las actividades creativas son comunes. La robótica, por otra parte, es una actividad que suele ser incluida en esos espacios y es bien recibida por parte de los jóvenes. Además, puede aprovecharse para el desarrollo de capacidades relacionadas con la resolución de problemas.

En este contexto de robótica y talleres creativos, el diseño y la impresión 3D encuentran una vinculación natural, en el sentido de que ayudan al desarrollo de objetos tangibles, útiles y personalizados. Por ejemplo estructuras para maquetas, piezas de un robot o proyectos artísticos, entre otros.

En Argentina, a partir de iniciativas de establecimientos públicos y privados, así como de proyectos derivados de organismos gubernamentales, las primeras impresoras 3D han comenzado a habitar las aulas. En cierto modo, este libro pretende brindar apoyo a aquellas escuelas que ya poseen equipamiento pero también ayudar a otras que están pensando en su incorporación.

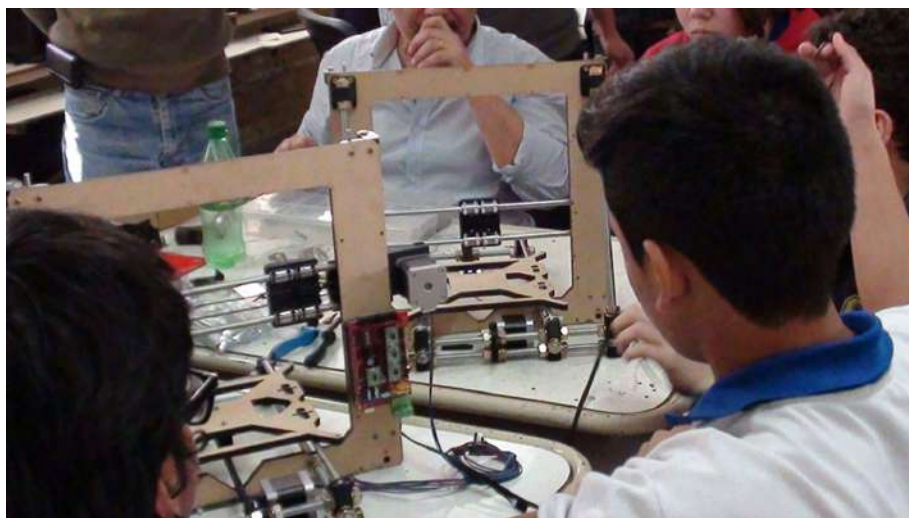


Imagen 1. Estudiantes de una escuela técnica de la Provincia de Buenos Aires ensamban una impresora 3D

6.1. EXPERIENCIAS EN DISEÑO E IMPRESIÓN 3D

En Argentina, la Universidad Pedagógica (UNPE) desarrolló en escuelas técnicas de los partidos bonaerenses de Pilar y Escobar una serie de talleres de diseño 3D y fabricación digital en el marco de su programa de extensión “Más allá de las pantallas”. En esos talleres realizados en 2015, estudiantes y profesores se organizaron como comunidades de aprendizaje en torno a la temática propuesta. Durante el primer tramo de la experiencia, cada equipo ensambló

y calibró su propia impresora 3D (los materiales e insumos fueron provistos por la Universidad). Luego, hubo una serie de talleres sobre principios del diseño 3D y sobre materialización de objetos en impresoras 3D. La experiencia fue muy enriquecedora para toda la comunidad, dado que estudiantes y profesores conformaron un único equipo de aprendizaje en el que se dieron interacciones y complementaciones muy ricas.

La Comunidad de Madrid, en España, invirtió ese mismo año cerca de dos millones de euros en la compra de trescientas impresoras 3D destinadas a establecimientos de enseñanza media con el fin de utilizarlas en una nueva asignatura de programación. En su plan de apropiación de la tecnología han promovido puentes con otras asignaturas y trabajos en conjunto para aprovechar los beneficios de diseñar y materializar objetos. Como apoyo, los alumnos disponen de la plataforma en línea Educamadrid, donde pueden obtener las aplicaciones necesarias para diseñar los componentes que vayan a imprimir. A través de esta página también pueden comprar —a un precio económico— repuestos de las piezas y el material con el cual fabricarlas. Además, la plataforma funciona como un repositorio donde los usuarios comparten sus diseños, experiencias, dudas y logros.

En los colegios de Estados Unidos las impresoras 3D ya están presentes, dado que hay una campaña oficial de promoción de prácticas *maker* en establecimientos educativos. En 2014, el expresidente Obama acogió por primera vez una *Maker Faire* en la Casa Blanca e incluso se fotografió con una jirafa robótica creada por un participante.

6.2. ¿POR QUÉ INCORPORAR UNA IMPRESORA 3D AL AULA?

Ante la pregunta de por qué la tecnología de impresión 3D es tan importante en la educación, el ingeniero Cristian Tenuta (2014) aporta una serie de pistas.

- Ayuda a los profesores, al poder visualizar en 3D conceptos que son difíciles de ilustrar de otra forma, y les permite generar más interés mostrándoles a los estudiantes objetos reales.
- Permite producir diseños que son imposibles de manufacturar. Los alumnos ya no están limitados a la hora de diseñar y pensar nuevos objetos.
- Alienta y mejora el “aprender haciendo” y abre una ruta al diseño iterativo: los estudiantes pueden diseñar partes en 3D, imprimirlas, testearlas, evaluarlas y, si no funcionan, trabajar con ellas de nuevo. Esto inevitablemente incrementa la innovación en los diseños producidos.
- Da más espacio para clases interactivas y fomenta el trabajo en equipo y el diseño colaborativo, permitiendo realizar trabajos en conjunto con otras materias o especialidades.

- Tiene fuertes vínculos con el aprendizaje personal y las habilidades de pensamiento. Se forman estudiantes creativos y reflexivos.

Aparte de los factores anteriores, existen otros motivos por los cuales puede ser necesario incorporar estas prácticas a las aulas. Por ejemplo, para que la experiencia de aprender se convierta en un proceso lúdico y participativo, y que se fomente la capacidad de resolver problemas a partir de procesos completos de diseño y prototipado.

6.3. PUENTE ENTRE ASIGNATURAS

El diseño y la impresión 3D se insertan naturalmente en muchas áreas de los programas de estudio de la escuela secundaria. Los usos son variados y ricos, van desde disciplinas como la geografía o la historia, donde se pueden recrear mapas topográficos o territorios de interés, a las clases de arte, donde se puede trabajar con modelos de esculturas digitales o incluso generar escenografías para proyectos que involucren narraciones (por ejemplo, *stop motion*); en ciencias naturales, esta tecnología permite materializar partes de seres vivos y reforzar el material didáctico; en matemáticas se pueden crear formas geométricas a partir de las ecuaciones correspondientes y así mejorar el conocimiento de conceptos abstractos; en el área de física, permitiría construir elementos que ayuden a realizar nuevas prácticas experimentales de cara a extender los recursos del laboratorio; en química, serviría para dar forma a estructuras tridimensionales complejas que los estudiantes puedan visualizar y comprender mejor; en informática su uso es amplio y la combinación de procesadores de bajo costo (por ejemplo Arduino) con piezas impresas permite generar una amplia gama de artefactos digitales interactivos en la línea de la robótica; en ingeniería brinda una amplia cantidad de oportunidades para construir motores o partes móviles que expliquen el funcionamiento de ciertas máquinas, e incluso para que los estudiantes especializados en diseño puedan iterar y probar prototipos de nuevos productos.

De los ejemplos anteriores surge la respuesta a las primeras apropiaciones que hicieron los establecimientos educativos de las impresoras 3D, que por lo general se produjeron en las escuelas de diseño y en las materias relacionadas con las prácticas STEM (siglas en inglés para Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemática).

A modo de resumen, el diseño y la impresión 3D en las aulas se constituyen como complementos al conjunto de recursos didácticos de los docentes. Es por eso que cada docente, en cada curso de cada establecimiento, debe ver cuál es la mejor forma de integrarlos en función de sus objetivos de enseñanza y de las expectativas de los estudiantes. Como se ha podido observar, en general la incorporación de la impresión 3D está relacionada con la posibilidad de pasar del plano del diseño abstracto al real, con el poder de materializar diseños. La producción de objetos de interés educativo sirve para conectar conceptos

que en ciertas ocasiones, desde el texto, no podían ser fácilmente percibidos. También ayuda a organizar el trabajo colaborativo entre los estudiantes, dado que los proyectos suelen ser extensos y estar dotados de cierta complejidad. Además, posibilita el trabajo interdisciplinario al conectar distintas áreas y permitir que las aulas tengan nuevas herramientas que promueven la creación por parte de sus estudiantes.

6.4. ARMAR TUS PROPIAS MÁQUINAS

El uso de una impresora 3D en ambientes educativos incluye varias fases: ensamblar la máquina, probarla, entender plenamente cómo funciona la parte mecánica y cuáles son sus componentes digitales, y finalmente usarla para materializar objetos en función de proyectos de diseño y fabricación.

Una opción es que el establecimiento pueda adquirir, por separado, los componentes de una impresora para luego ensamblarla. Es una tarea más ardua y compleja, pero también más económica. En un sitio de la comunidad *maker*, Instructables, hay publicado un proyecto para construir una impresora 3D.¹ Allí se indican cuáles son los componentes necesarios, como así también todos los pasos de ensamblado.

Adquirir componentes para ensamblar abre todo un espacio de trabajo y reflexión en pos de la apropiación de estos artefactos, dado que los estudiantes y profesores son parte de un proceso constructivo que los involucra en profundidad. Este proceso implica analizar cada componente por separado, determinar cuál es su función, cómo opera y cómo interacciona con el resto; en resumen, construir un nuevo tipo de saber en torno de la lógica mecánica y digital. Además, las máquinas para ensamblar facilitan futuras reparaciones e incluso modificaciones sobre su funcionalidad. De alguna manera, los participantes de estos proyectos desarrollan el espíritu *hacker*, no se conforman con lo dado y tratan de darle una vuelta más a la evolución a las cosas.

El profesor español Francisco Pérez García (2014) va un poco más allá en esa línea e indica que “nuestros estudiantes deben ser *hackers*”, viendo a los *hackers* como personas que resuelven problemas y construyen cosas en un ambiente donde reina la libertad y la colaboración. También el sociólogo Pekka Himanen asegura que los niños y jóvenes son *hackers* en esencia. No hay que explicarles qué significa algo, basta con brindarles condiciones para que se hagan preguntas, busquen respuestas, formulen ideas y las puedan aplicar en proyectos de su interés. La educación es un tema clave, dado que allí se reproducen los valores culturales. Desde esta perspectiva, lo más importante es ayudar a la gente a descubrir sus pasiones, aquellas donde ponen en su juego su creatividad.

1. Ver: <www.instructables.com/id/Building-a-3D-Printer-Under-200/>.

6.5. CONSIDERACIONES FINALES

Hay educadores que están reconociendo el potencial que las tecnologías de diseño y fabricación digital pueden tener al servicio de la educación, no solo como área de saber nueva, también como herramienta emergente en procesos educativos donde se promueven actividades relacionadas con la creatividad a partir de tareas de diseño y fabricación de cosas. La teoría construccionista asume que el aprendizaje es una reconstrucción más que una mera transmisión de conocimientos.

Como se dijo, los espacios *maker* se caracterizan por estar compuestos por un colectivo de personas que comparten su interés por crear cosas significativas para ellos y compartir cómo lo hicieron. Estas prácticas son superadoras y habilitadoras de una formación más apropiada a los tiempos que corren. Por eso estamos convencidos de que hay que tender puentes entre la escuela y estas comunidades de aprendizaje informal. Los movimientos de software y hardware libre son aliados naturales que aportan valores y recursos valiosos para la formación de las personas.

La importancia de los colectivos de aprendizaje basados en el hacer radica en las posibilidades reales de construcción de saberes a partir de ideas y motivaciones propias. Es ahí donde la innovación crece, dado que prácticamente puede estar en manos de cualquier persona. Por eso, la combinación de prácticas *maker* y actividades de diseño e impresión 3D conforma un recurso valioso para los educadores y beneficia una formación más apropiada a los tiempos que corren.

Webgrafía comentada

Manual de conceptos, consejos y dudas de la impresión 3D. Diseñado por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia. Contiene al final una guía de preguntas frecuentes sobre el tema. Disponible en: <www.maquetasarq.webs.upv.es/Manual3D.pdf>.

Guía práctica para tu primera impresión 3D. Documento claro y práctico escrito por Carlo Fonda. Disponible en: <goo.gl/qf1FZC>.

Guía de fallas habituales en la impresión 3D. La empresa León 3D ofrece en su página una guía que permite identificar visualmente ejemplos de fallos comunes. También incluye pistas sobre cómo resolverlos. Disponible en: <www.leon-3d.es/guia-de-resolucion-de-problemas/>.

Repositorio de ejemplos educativos. En la página de León 3D también ofrecen un catálogo de proyectos listos para ser impresos y de descarga libre. Disponible en: <www.leon-3d.es/piezas-para-educacion/>.

Print Quality Troubleshooting Guide (Guía de resolución de problemas de calidad en procesos de impresión). Realizada por la empresa Simplify3D, está en inglés. A partir de fotos de fallas típicas, se puede acceder a pistas para solucionarlas. Disponible en: <www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>.

Free alternatives to Tinkercad (Alternativas gratuitas a Tinkercad). En este artículo de la revista *Make* (en inglés) se presentan algunas herramientas de uso libre para el diseño 3D. Disponible en: <makezine.com/2013/03/28/free-alternatives-to-tinkercad/>.

¿Tienes problemas de impresión? Guía para impresión 3D desarrollada por IkasLab. Es una herramienta visual que ayuda a detectar y solucionar los problemas más comunes de la impresión 3D. Disponible en: <goo.gl/iR1r4r>.

Guía básica de impresión 3D para nuevos usuarios. Realizada por la tienda Madrid 3D Print. Describe los pasos básicos para realizar una primera impresión de un objeto 3D. Va desde la puesta a punto de la máquina hasta el posprocesado. Disponible en: <goo.gl/TNrs3H>.

Diseño e Impresión 3D. Aplicaciones a la docencia. Trabajo de fin de grado de Amparo Alarte Garvía, presentado en julio de 2014 en la Universidad de Alicante, donde se estudian las posibilidades de uso de las nuevas herramientas de diseño y de las impresoras 3D en el mundo de la docencia. Disponible en: <rua.ua.es/dspace/handle/10045/39812>.

The Free Beginner's Guide (Guía gratuita para el principiante). Guía en inglés creada por la página web 3D Printing Industry, donde se cuenta la historia del desarrollo de la impresión 3D, así como aplicaciones y conceptos básicos para entenderla. Disponible en: <3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide/history/>.

3 Tutorials on 3D Modeling with Tinkercad.com (Tres tutoriales sobre modelado 3D con Tinkercad.com). Videos que ayudan a conocer el manejo de la aplicación de diseño 3D Tinkercad. Disponibles en: <goo.gl/30Ajal>.

Getting Started in Tinkercad (Comenzando a usar Tinkercad). Guía didáctica en inglés, realizada por Bonnie Roskes, para conocer esta aplicación. Disponible en: <www.3dvinci.net/PDFs/GettingStartedInTinkercad.pdf>.

Step by Step Guide to Creating 3D Printed Cookie Cutters with Christmas Motifs (Guía paso a paso para crear moldes de galletas con motivos navideños impresos en 3D). Artículo que muestra un proyecto completo de diseño 3D. Disponible en: <3dprintingforbeginners.com/3d-printed-cookie-cutters-with-christmas-motifs/>.

Illustrating Mathematics Using 3D Printers (Ilustrar las matemáticas usando impresoras 3D). Artículo en inglés, escrito por Oliver Knill y Elizabeth Slavkovsky. Presenta aproximaciones educativas al uso del diseño y la impresión 3D en el área de matemáticas. Disponible en: <www.math.harvard.edu/~knill/3dprinter/documents/trieste.pdf>.

Modelado 3D en Blender para impresión. Documento realizado en el marco del Plan Ceibal del Gobierno de Uruguay. Da los primeros pasos para conocer la herramienta y realizar prácticas simples de diseño. Disponible en: <<https://es.scribd.com/document/268128494/Blender-Ceibal>>.

Manual de Cura. Guía escrita por Raúl Diosdado sobre Cura, un software *slicer* para procesar los archivos de diseño en 3D y generar las instrucciones de impresión necesarias. Disponible en: <www.zonamaker.com/impresion-3d/software-imp3d/manual-de-cura>.

Bibliografía

Adams Becker, Samantha *et al.*

2017 *NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition*, Austin, The New Media Consortium. Disponible en: <<https://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2017-higher-education-edition-spanish/>>. [Consulta: 16 de junio de 2018]

Aledo Sánchez, Carlos

2013 “Más de 100.000 diseños en Thingiverse”, en *Print3D World*, 11 de junio. Disponible en: <www.print3dworld.es/2013/06/mas-de-100000-disenos-en-thingiverse.html>. [Consulta: 14 de noviembre de 2017]

Anderson, Chris

2013 *Makers. La nueva revolución industrial*, Barcelona, Urano.

Blanco, Epifanio

2012 “Crowdfunding: una solución social para financiar a emprendedores”, en *Portinos*, 4 de mayo. Disponible en: <www.portinos.com/12856/crowdfunding-una-solucion-social-para-financiar-a-emprendedores>. [Consulta: 12 de enero de 2016]

Brown, Tim

2009 *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*, Nueva York, Harper Collins.

Dewey, John

1972 “A Pedagogical Experiment”, en *Early Works of John Dewey*, vol. 5, Carbondale, Southern Illinois University Press, pp. 244-46. [1896]

Dougherty, Dale

2013 “The Maker Mindset”, en Honey, Margaret y Kanter, David E. (eds.), *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM innovators*, Nueva York, Routledge, pp. 7-11.

Foster, Bill

2013 “National Fab Lab Network Act of 2013”. Disponible en: <goo.gl/HUYATZ>. [Consulta: 22 de febrero 2016]

Fundación Telefónica

- 2014 *Fabricación digital: Nuevos modelos de negocio y nuevas oportunidades*, Barcelona, Fundación Telefónica-Ariel. Disponible en: <goo.gl/vDqAnV>. [Consulta: 9 de noviembre de 2017]

Gershenfeld, Neil

- 2012 “How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution”, en *Foreign Affairs*, vol. 91, n° 6, noviembre-diciembre, pp. 43-57.

Hacedores

- 2014 “¿Qué es el Movimiento Maker?”, en *Hacedores. Maker Community*, 7 de julio. Disponible en: <hacedores.com/movimientomaker/>. [Consulta: 2 de marzo de 2016]

Hatch, Mark

- 2013 *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*, Nueva York, McGraw-Hill.

Himanen, Pekka

- 2002 *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información*, Barcelona, Destino.

Hodgson, Gary

- 2016 “Infill Patterns and Density”, en *Slic3r Manual*. Disponible en: <manual.slic3r.org/expert-mode/print-settings#infill-patterns>. [Consulta: 13 de septiembre de 2018]

INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)

- 2009a “Estereolitografía - Principio de funcionamiento”, en *Laboratorio de Materialización*, 25 de agosto. Disponible en: <tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/2009/08/25/estereolitografia-principio-de-funcionamiento>. [Consulta: 23 de marzo de 2016]
- 2009b “Sinterizado Láser Selectivo - Principios de funcionamiento”, en *Laboratorio de Materialización*, 22 de septiembre. Disponible en: <<http://tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/2009/09/22/sinterizado-laser-selectivo-principios-de-funcionamiento/>>. [Consulta: 12 de junio de 2018]
- 2009c “Modelado por Deposición Fundida - Principio de Funcionamiento”, en *Laboratorio de Materialización*, 15 de septiembre. Disponible en: <<http://tallerdesoluciones.blogs.inti.gob.ar/2009/09/15/modelado-por-deposicion-fundida-principio-de-funcionamiento/>>. [Consulta: 12 de junio de 2018]
- 2013 “Impresión 3D: el motor de la tercera Revolución Industrial”, 3 de octubre. Disponible en: <<https://www.inti.gob.ar/noticias/innovacionDesarrollo/3D.htm>>. [Consulta: 9 de mayo de 2018]

- 2016 “Mapa de impresión 3D. Agosto 2016”. Disponible en: <https://www.inti.gob.ar/prodiseno/pdf/mapa_impresion3d.pdf>. [Consulta: 13 de junio de 2018]

iProfesional

- 2014 “Jóvenes desarrollaron una prótesis con una impresora 3D en un bar de Palermo”, en *iProfesional*, 6 de mayo. Disponible en: <www.iprofesional.com/notas/186210-Jvenes-desarrollaron-una-prtesis-con-una-impresora-3D-en-un-bar-de-Palermo?page_y=2255>. [Consulta: 31 de marzo de 2016]

Johnson, Larry *et al.*

- 2015 *NMC Horizon Report: 2015 K-12 Edition*, Austin, The New Media Consortium. Disponible en: <cdn.nmc.org/media/2015-nmc-horizon-report-k12-EN.pdf>. [Consulta: 24 de enero de 2018]

Lockwood, Thomas (ed.)

- 2010 *Design Thinking: Integrating Innovation, Customer Experience and Brand Value*, Nueva York, Allworth Press.

Lukin, Tomás

- 2014 “Los nuevos senderos que se abren”, en *Página/12*, 27 de octubre. Disponible en: <www.pagina12.com.ar/diario/economia/2-258435-2014-10-27.html>. [Consulta: 31 de marzo de 2016]

Mincyt (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva)

- 2015 “Impresión 3D: trabajo en red para una tecnología emergente”, en *InfoSepp (Informe de la Secretaría de Planeamiento y Políticas)*, año 5, n° 22, marzo. Disponible en: <www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/038/0000038659.pdf>. [Consulta: 6 de diciembre de 2017]

NASA

- 2014 “La impresora 3-D de la Estación Espacial Internacional crea su primer objeto”, en *Nasa en español*, 26 de noviembre. Disponible en: <www.lanasa.net/news/iss/la-impresora-3-d-de-la-estacion-espacial-internacional-crea-su-primer-objeto/>. [Consulta: 21 de noviembre de 2017]

NTS (Noticiero Tecnológico Semanal)

- 2015 “Impresión 3D a partir de botellas usadas de PET”, en *NTS*, n° 466, 5 de octubre. Disponible en: <www.inti.gob.ar/noticiero/2015/noticiero466.htm>. [Consulta: 22 de noviembre de 2017]

Pérez García, Francisco

- 2014 “Creatividad tecnológica mediante programación”, en *Didáctica*,

Innovación y Multimedia, n° 30, año 10, diciembre. Disponible en: <dim.pangea.org/revistaDIM30/docs/OC30programar.pdf>. [Consulta: 23 de enero de 2017]

Resnick, Mitchel

- 2001 “Closing the Fluency Gap”, en *Communications of the ACM*, vol. 44, n° 3, marzo, pp. 144-145. Disponible en: <web.media.mit.edu/~mres/papers/closing-fluency-gap.pdf>. [Consulta: 24 de enero de 2018]
- 2002 “Chapter 3. Rethinking Learning in the Digital Age”, en Kirman, Geoffrey S. et al., *The Global Information Technology Report 2001-2002. Readiness for the Networked World*, Nueva York, Oxford University Press, pp. 32-37.
- 2007 “All I Really Need to Know (About Creative Thinking) I Learned (By Studying How Children Learn) in Kindergarten”, trabajo presentado en 6th Creativity & Cognition Conference, Washington, 13 al 15 de junio. Disponible en: <web.media.mit.edu/~mres/papers/CC2007-handout.pdf>. [Consulta: 17 de noviembre de 2017]

Rivera Butzbach, Eric

- 2012 *Crowdfunding: La eclosión de la financiación colectiva (un cambio tecnológico, social y económico)*, Barcelona, Microtemas-QVE.

Tenuta, Cristián

- 2014 “¿Cómo las impresoras 3D están revolucionando las aulas?”, en *SABF blog*, 30 de mayo. Disponible en: <blog.sabf.org.ar/2014/05/30/como-las-impresoras-3d-estan-revolucionando-las-aulas/>. [Consulta: 22 de enero de 2018]

Zahera, Manuel

- 2012 “La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos”, trabajo presentado en XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia, 11 al 13 de julio. Disponible en: <goo.gl/nCQQnd>. [Consulta: 2 de febrero de 2016]

Créditos de imágenes

Capítulo 1. Fabricación digital y prácticas maker

Imagen 1: Impresora 3D (modelo AW3D V.4) fabricada por Airwolf 3D. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D#/media/File:Airwolf_3d_Printer.jpg>.

Imagen 2. Pallet en miniatura impreso con material LayWood. Autor: Creative Tools. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/creative_tools/12574069335/>.

Imagen 3. Impresión 3D de una pelota diseñada a partir de una trama compleja. Fuente: <<https://pixabay.com/es/bola-impresion-3d-dise%C3%B1o-597523/>>.

Imagen 4. Prototipo de motor fabricado con una impresora MakerBot Replicator 2. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/creative_tools/8080033161>.

Imagen 5. Robot cuadrúpedo Kame 8DOF. Autor: Javier Isabel. Fuente: <<https://www.thingiverse.com/thing:1265766>>.

Imagen 6. Una impresora 3D en el Makers Party de Bangalore, en 2013. Fuente: <https://lt.wikipedia.org/wiki/3D_spausdinimas#/media/File:Printing_with_a_3D_printer_at_Makers_Party_Bangalore_2013_11.JPG>.

Imagen 7. Espiral del pensamiento creativo. Fuente: <<http://www.eduteka.org/articulos/ScratchResnickCreatividad>>.

Capítulo 2. La impresión 3D

Imagen 1. Componentes de un sistema de fabricación por estereolitografía. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Estereolitograf%C3%ADa#/media/File:Stereolithography_apparatus.jpg>.

Imagen 2. Escultura de una lechuza impresa con material LayWood. Autor: Jeremie Francois. Fuente: <<http://www.tridimake.com/2012/10/shades-of-brown-with-wood-filament-via.html>>.

Capítulo 3. Impresoras 3D por deposición fundida

Imagen 1. Darwin, la primera impresora 3D autorreplicante. Autor: Adrian Bowyer. Fuente: <<https://hackaday.com/2016/03/02/getting-it-right-by-getting-it-wrong-reprap-and-the-evolution-of-3d-printing/>>.

Imagen 2. Mendel, la impresora RepRap versión 2.0. Fuente: <<http://reprap.org/wiki/File:PressPix-mendel.jpg>>.

Imagen 3. Impresora RepRap modelo Prusa i3. Autor: John Abella. Fuente: <<https://www.flickr.com/photos/jabella/8965235630>>.

Imagen 4. Componentes de una impresora 3D. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 5. Shield Ramps 3.1. Fuente: <http://reprap.org/wiki/File:RAMPS1_3.JPG>.

Imagen 6. Frente de impresora RepRap modelo Prusa i3. Fuente: <http://reprap.org/wiki/File:PRUSA_i3_Front.jpg>.

Imagen 7. Pasos para la traducción de un diseño 3D en órdenes de fabricación. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Capítulo 4. Materialización de objetos con una impresora 3D

Imagen 1. Pasos de una impresión 3D. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 2. Ejemplos de resolución de archivos STL. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 3. Ángulos de estructuras 3D. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 4. Impresión con y sin material de soporte. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 5. Otros tipos de estructuras auxiliares. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Imagen 6. Patrones de relleno. Fuente: <<http://manual.slic3r.org/expert-mode/print-settings#infill-patterns>>.

Imagen 7. Variaciones en el porcentaje de relleno. Fuente: <<http://manual.slic3r.org/expert-mode/print-settings#infill-patterns>>.

Imagen 8. Interfaz de la aplicación Pronterface.

Capítulo 5. Prácticas en diseño 3D e impresión de objetos

Imágenes propias. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Capítulo 6. Aulas, diseño 3D e impresión de objetos

Imagen 1. Estudiantes de una escuela técnica de la Provincia de Buenos Aires ensamblan una impresora 3D. Autor: Alejandro A. Iglesias.

Sobre los autores

FERNANDO RAÚL ALFREDO BORDIGNON es profesor asociado ordinario del Departamento de Ciencias y Tecnología en la Universidad Pedagógica Nacional (UNIPE), donde también dirige la carrera de Especialización en Educación Mediada por Tecnologías de la Información y de la Comunicación. Es doctor en Comunicación y Educación en Entornos Digitales y se especializa en el desarrollo de los saberes digitales. Su formación inicial fue en ciencias de la computación, con especialización en redes de datos. Ha investigado temas relacionados con la comunicación y la educación. En la actualidad participa en proyectos de trabajo que analizan ambientes informales de aprendizaje (*makerspaces*, *hackerspaces*, *fab-labs*) en busca de experiencias que contribuyan a mejorar la educación pública.

ÁNGELA HAHN es analista de Sistemas egresada de la Universidad Nacional de Luján (UNLu). Se desempeña como docente del área de programación de computadoras en escuelas secundarias técnicas de la Provincia de Buenos Aires. Es directora del Centro de Información e Investigación Educativa en el distrito bonaerense de Escobar. Desde el año 2015 participa en proyectos de investigación de la UNIPE relacionados con los saberes digitales.

ALEJANDRO ADRIÁN IGLESIAS es licenciado en Sistemas de Información por la UNLu. Integra el equipo de investigadores del Laboratorio de Investigación y Formación en Nuevas Tecnologías Informáticas Aplicadas a la Educación y es jefe de trabajos prácticos en el Departamento de Ciencias y Tecnología de la UNIPE. Participó en el desarrollo de videojuegos independientes y sus intereses están centrados en el uso de tecnologías de forma creativa, como herramienta de expresión y de empoderamiento ciudadano. Es autor del libro *¡Quiero hacer un videojuego!*, que UNIPE: Editorial Universitaria publicó en 2016.

Hasta hace no muchos años, la presencia de las impresoras 3D –máquinas capaces de materializar un objeto a partir de un diseño digital– se limitaba a ámbitos industriales o laboratorios con enormes presupuestos. Sin embargo, la transformación que supuso la extensión de las licencias libres en el mundo del software y el hardware ha permitido que estos artefactos ingresen en pequeñas fábricas, talleres de aficionados y en las aulas. En un contexto en el que las impresoras 3D permiten fabricar artefactos literalmente fuera del planeta Tierra, se utilizan en la construcción de casas e incluso para producir tejidos humanos, este libro se constituye como una guía de apoyo a quienes desean incorporar esa misma herramienta a las prácticas educativas. Además de hacer un recorrido histórico sobre la evolución y los cambios de paradigma que trae consigo la fabricación digital, *Diseño e impresión de objetos 3D* explica a través de proyectos y desafíos básicos cuáles son los conocimientos esenciales para adueñarse de esta tecnología y ser capaces de aplicarla a nuestras propias necesidades, tanto dentro como fuera del aula.

ISBN 978-987-3805-35-6

