

COMO HACER CASI CUALQUIER COSA

La revolución de la fabricación digital

Neil Gershenfeld

Artículo publicado en Foreign Affairs en 2012

Se avecina una nueva revolución digital, esta vez en fabricación. Expresa la misma visión que condujo a las primeras digitalizaciones de la comunicación y la computación, pero ahora lo que se está programando es el mundo físico que está en el virtual.

La fabricación digital permitirá que los individuos diseñen y produzcan objetos tangibles por demanda, donde sea y cuando sea que los necesiten. El amplio acceso a estas tecnologías desafiará los modelos tradicionales de negocios, extranjeros y educación. Las raíces de la evolución se remontan a 1952, cuando los investigadores del Instituto de Tecnología de Massachusetts (mit) cablearon computadores casi digitales a una máquina fresadora, creando la primera máquina herramienta controlada numéricamente. Al usar un programa de computadora en lugar de un maquinista para extraer el tornillo que movía el material de metal, los investigadores podían producir componentes de aeronaves con las más claras que podrían fabricarse a mano. Desde aquella legendaria fresadora, toda clase de herramientas de corte se han montado en plataformas controladas por computadora, incluidos chorros de agua que transportan abrasivos que pueden atravesar materiales duros, láser que puede tallar rápidamente características finas, y sistemas de cargas eléctricas que pueden hacer cortes finos.

Hoy en día, las máquinas controladas numéricamente manejan todos los productos comerciales, ya sea directamente (produciendo todo, desde estuches para computadoras portátiles hasta motores a reacción) o indirectamente (produciendo herramientas que moldean y estampan productos producidos en masa). Y todos estos descendientes modernos de la primera máquina herramienta controlada numéricamente comparten su limitación original: pueden sustraer, desbastar, cortar externamente, pero no pueden romper estructuras internas. Esto significa, por ejemplo, que el eje de una rueda se debe fabricar por separado a partir de los pasos de rodamiento. Sin embargo, en la década de 1980, el proceso de fabricación controlado por computadora en el que el material es agregado (llamado fabricación aditiva) ingreso en el mercado. Gracias a la impresión tridimensional, la misma máquina podría construir un rodamiento y un eje al mismo tiempo. Ahora se encuentra disponible una gama de procesos de impresión en 3-D, que incluye filamentos plásticos de fusión térmica, utilizando luz ultravioleta para unir resinas poliméricas,

depositar gotas adhesivas para unir un polvo, cortar y laminar láminas de papel y hacer brillar un rayo láser para fusionar partículas de metal. Las empresas ya utilizan impresoras tridimensionales en productos de modelos antes de producirlos, un proceso que se conoce como creación rápida de prototipos. Las empresas también se limitan a la tecnología para hacer objetos con formas complejas, como joyas e implantes médicos. Los grupos de investigación han utilizado impresoras tridimensionales para construir estructuras a partir de células con el objetivo de imprimir órganos vivos.

La fabricación aditiva se ha visto ampliamente como una revolución, presentada en la portada de las publicaciones de Wired to The Economist. Este es, sin embargo, un curioso tipo de revolución, proclamado más por sus observadores que por sus profesionales. En un taller bien equipado, se puede utilizar una impresora tridimensional para aproximadamente un cuarto de los puestos de trabajo, con otras máquinas haciendo el resto. Una razón es que las impresoras son lentas y tardan un día en hacer las cosas. Otras herramientas controladas por computadora pueden producir piezas más rápidas o con características más finas o más grandes, más livianas o más fuertes. Brillantes artículos sobre impresoras tridimensionales leyeron historias de la década de 1950 que proclamaban que los hornos de microondas eran el futuro de la cocción. Los hornos de microondas son convenientes, pero ellos no reemplazan al resto de las cocinas.

La revolución no es fabricación aditiva versus fabricación sustractiva. **Su capacidad esta en convertir datos de datos y cosas en datos. Eso es lo que viene.** Por otra parte, existe una estrecha analogía con la historia de la informática. El primer paso en ese desarrollo fue la llegada de las computadoras centrales grandes en la década de 1950, que solo las corporaciones, los gobiernos y las instituciones de élite podían cumplir. Luego vino el desarrollo de las minicomputadoras en la década de 1960, liderado por la familia de computadoras de la empresa Digital Equipment Corporation, que se basaba en la primera computadora transistorizada, la tx-0. Estos trajeron el costo de una computadora de cientos de miles de dólares, decenas de miles. Eso todavía era demasiado para un individuo pero era asequible para grupos de investigación, departamentos universitarios y empresas más pequeñas. La gente que alojó estos dispositivos desarrolló las aplicaciones para que alguien pueda saber todo sobre una computadora: enviar correos electrónicos, escribir en un procesador de textos, jugar videojuegos, escuchar música. Después de que las minicomputadoras llegaran a las computadoras de aficionados, la más conocida de ellas, la Altair 8800, se vendió en 1975 por alrededor de \$ 1,000 para ensamblar alrededor de \$ 400 en forma de kit. Sus capacidades eran rudimentarias, pero cambiaron la vida de una

generación de pioneros informáticos, que podían conocer una máquina individualmente. Finalmente, la computación realmente se convirtió en personal con la apariencia de la computadora personal de computadora personal en 1981. Era relativamente compacta, fácil de usar, útil y asequible. Al igual que con los viejos mainframes, solo las instituciones pueden cumplir con las versiones modernas de los dispositivos de molienda controlados por computadora voluminosos y costosos.

El objetivo es no solo producir las piezas de un dron, por ejemplo, sino construir un vehículo completo que pueda volar directamente desde la impresora.

En la década de 1980, los sistemas de pruebas de prototipos rápidos de primera generación de compañías como 3D Systems, Stratasys, Epilog Laser y Universal redujeron el precio de los sistemas de fabricación controlados por computadora a partir de cientos de miles de dólares a miles de grupos, haciendo que los grupos de investigación fueran atractivos. Los productos de fabricación digital de la próxima generación en el mercado ahora, como el RepRap, el MakerBot, el Ultimaker, el PopFab, y ellos tm Snap, venden para miles de dólares y ensamblan cientos de dólares como partes. A diferencia de las herramientas de fabricación digital que vinieron antes, estas herramientas tienen planes que generalmente se comparten de manera gratuita, de modo que aquellos que tienen las herramientas (como las que poseen las computadoras del aficionado) no solo pueden usar los metales para hacer más de ellos y modificarlos. Los fabricantes digitales personales integrados comparables a la computadora personal no existen, pero sí lo harán.

La fabricación personal ha estado alrededor de los años como un elemento básico de ciencia ficción. Cuando el programa de la serie de televisión Star Trek: The Next Generation se enfrentó a un desarrollo de trama particularmente desafiante, podrían usar la réplica a bordo para hacer lo que fuera necesario. Los científicos en una serie de placas (incluida la mía) ahora están trabajando en la realidad, desarrollando procesos que pueden colocar átomos y moléculas individuales en la estructura de agua que desean. A diferencia de las impresoras 3D hoy en día, estas podrán construir sistemas funcionales completos a la vez, sin necesidad de ensamblar piezas. El pistón solo produce las piezas para un dron, por ejemplo, pero construye un vehículo completo que puede volar fuera de la impresora. Este objetivo todavía está por llegar, pero no es necesario esperar: la mayoría de las funciones de la computadora que uno usa hoy en día se inventaron en la era de la minicomputadora, mucho antes de que florecieran en la era de la informática personal. Del mismo modo, aunque las máquinas de fabricación digital de hoy en día todavía

están en su infancia, ya se pueden usar para hacer (casi) cualquier cosa, en cualquier lugar. Eso cambia todo.

PENSAR GLOBALMENTE, FABRICAR LOCALMENTE

Observe detenidamente el paralelismo entre la computación personal y la fabricación personal cuando enseñé una clase llamada "Cómo hacer (casi) cualquier cosa" en el Centro de Bits y Átomos de MIT, que dirijo. Fue inaugurado en 2001 con fondos de la Fundación Nacional de Ciencia, fue desarrollado para estudiar el límite entre la ciencia de la computación y la ciencia física. Funciona en una instalación que hace equipos equipados y mide cosas que son tan pequeñas como atomizadoras y tan grandes como edificios. Diseñamos el cristal para que un pequeño grupo de estudiantes de investigación utilicen las herramientas de la CBA, pero quedamos abrumados por la demanda de los estudiantes que simplemente querían hacer cosas. Cada estudiante finalizó un proyecto de un semestre para integrar las habilidades que aprendieron. Un reloj de madera hecho con el que el dueño de la granja tendría que luchar para demostrar que él o ella estaba despierto. Otro hizo un vestido equipado con sensores y estructuras motorizadas tipo espinos que podrían defender el espacio personal del usuario.

Los estudiantes respondieron una pregunta que no había preguntado: ¿para qué sirve la fabricación digital? La respuesta fue: la verdadera fortaleza en la fabricación digital, como en informática, es la personalización, la producción de productos para un mercado de una persona.

Inspirados por el éxito de esa primera clase, en 2003, comenzamos un proyecto de mayor alcance con el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencia. En lugar de mostrar nuestro trabajo, pensamos que sería más interesante proporcionar las herramientas. Ensamblamos un kit de alrededor de \$ 50,000 por equipo (incluyendo un láser controlado por computadora, una impresora 3-d, y máquinas de fresado controladas por computadora grandes y pequeñas) y alrededor de \$ 20,000 en materiales (incluidos componentes de moldeo y fundición de piezas y electrónica de producción).

Todas las herramientas se conectaron mediante software personalizado. Estos se conocen como "fablabs" (para "fabricationlabs" o "fabulouslabs").

Su costo es comparable al de una minicomputadora, y hemos descubierto que se usan de la misma manera: para desarrollar nuevos usos y nuevos usuarios para las máquinas. A partir de diciembre de 2003, un equipo dirigido por Sherry Lassiter, una colega mía, estableció la primera fábrica en el South End Technology Center, en el centro de

Boston. Conjunto dirigido por Mel King, un activista que ha sido pionero en la introducción de nuevas tecnologías en nuestras comunidades, desde la producción de video hasta el acceso a Internet. Para él, las máquinas de fabricación digital fueron el siguiente paso natural. Para todas las recesiones entre el campus universitario y el South End, las respuestas en ambos lugares fueron igualmente entusiastas. Un grupo de chicas de la zona utilizaba las herramientas en el laboratorio para entrar en una venta de esquinas de la calle de alta tecnología, simultáneamente divirtiéndose, expresándose, aprendiendo habilidades técnicas y obteniendo ingresos. Algunos de los hogares que educan a niños en el vecindario que han utilizado el fablab para la capacitación práctica han iniciado carreras en tecnología. Estas tablas estaban planificadas para el proyecto de divulgación. Pero gracias por el interés de una comunidad ghanesa alrededor del grupo, en 2004, cba, con el apoyo de National Science Foundations y la ayuda de un equipo local, estableció una segunda fábrica en la ciudad de Sekondi Takoradi, en la costa de Ghana. Desde entonces, se han instalado fablabs en todas partes desde Sudáfrica hasta Noruega, desde el centro de Detroit hasta la India rural.

En los últimos años, el número total se ha duplicado cada 18 meses, con más de 100 en funcionamiento hoy y muchos más planeados. Estas piezas forman parte de un "movimiento de creadores" más grande de hágalo usted mismo de alta tecnología, que están democratizando los accesos a los medios modernos. La demanda local ha atraído a fablabs en todo el mundo. Aunque existe una amplia gama de sitios y modelos de financiación, todos los equipos comparten las mismas capacidades. Esto permite que los proyectos se compartan y la gente se arrastre a lo largo de los laboratorios. Proporcionar acceso a Internet ha sido un objetivo de muchos fablabs. Desde el laboratorio de Boston, se inició un proyecto para hacer antenas, radios y terminales para redes inalámbricas. El diseño se definió en un fablab en Noruega, se desperdició en uno en Sudáfrica, se desplegó desde Afganistán y ahora se está ejecutando sobre una base comercial autosostenible en Kenia. Ninguno de estos sitios tenía la masa crítica de conocimiento para diseñar y producir la red que se conoce. Pero al compartir archivos de diseño y producir los componentes localmente, pueden hacerlo juntos.

La capacidad de enviar datos a todo el mundo y luego producir productos localmente a demanda tiene implicaciones revolucionarias para la industria.

La primera revolución industrial se remonta a 1761, cuando se abrió el Canal de Bridgewater en Manchester, Inglaterra. Encargado por el duque de Bridgewater para traer carbón de sus minas en Worsley a Manchester y para enviar productos hechos con ese carbón al mundo, fue el primer

canal que no siguió una vía fluvial existente. Gracias al nuevo canal, Manchester explotó. En 1783, la ciudad tenía una fábrica de algodón; en 1853, tenía 108. Pero el auge fue seguido por una caída. El canal quedó obsoleto por los ferrocarriles, luego por los camiones y finalmente por el transporte en contenedores. Hoy en día, la producción industrial es una carrera de fondo, con fabricantes que se mudan a las ubicaciones de menor costo para alimentar las cadenas de suministro mundiales. Ahora, Manchester tiene FabLAB innovador que participa en una nueva revolución industrial. Un diseño creado allí puede enviarse electrónicamente a cualquier parte del mundo para la producción a pedido, lo que efectivamente elimina el costo de envío. Y a diferencia de las viejas fresadoras, los medios de producción pueden ser propiedad de cualquier persona.

¿Por qué podría uno querer tener una máquina de fabricación digital? Las herramientas de fabricación personal se han considerado juguetes, porque el costo incremental de la producción en masa siempre será menor que para una o una de las mercancías. Un mensaje similar apuntó contra las computadoras personales. Ken Olsen, fundador y director ejecutivo de la Minicomputermaker Digital Equipment Corporation, dijo en 1977 que "no hay ninguna razón para que una persona tenga una computadora en su casa". Su compañía ya no existe.

Lo más probable es que tengas una computadora personal. No está allí para inventario y nómina; es para hacer lo que te hace a ti mismo: escuchar música, hablar con amigos, ir de compras. Del mismo modo, el objetivo de la fabricación personal no es hacer lo que puede comprar en las tiendas, sino hacer lo que no puede comprar. Considera comprar en ikea. El gigante de los muebles adivina la demanda mundial de muebles y luego produce y envía artículos a sus grandes tiendas. Por solo miles de dólares, las personas ya pueden comprar el kit para una fresadora controlada por computadora de gran formato que puede fabricar todas las piezas en una caja plana de paquete ikea. Si la máquina guardara solo diez compras de ikea, sus gastos podrían recuperarse. Aún mejor, cada artículo producido por la máquina se personalizaría para adaptarse a las preferencias del cliente. Y en lugar de emplear personas en fábricas remotas, fabricar muebles de esta manera es un asunto local.

La digitalización del material no es una idea nueva. Tiene cuatro mil millones de años y se remonta a la edad evolutiva del ribosoma.

Esta última observación inspiró el proyecto Fab City, dirigido por el arquitecto en jefe de Barcelona, Vicente Guallart. Barcelona, como el resto de España, tiene una tasa de desempleo juvenil de más del 50 por

ciento. Toda una generación tiene pocas posibilidades de conseguir trabajo y salir de casa. En lugar de comprar productos producidos muy lejos, la ciudad, con Guallart, está desplegando laboratorios fabulosos en cada distrito como parte de la infraestructura cívica. El objetivo es que la ciudad esté conectada globalmente para el conocimiento pero que sea autosuficiente para lo que consume. Las herramientas de fabricación digital disponibles hoy en día no están en su forma final. Pero en lugar de esperar, programas como el de Barcelona están creando la capacidad de usarlos a medida que se desarrollan.

BITS Y ÁTOMOS

Habitualmente, el término "fabricación digital" se refiere a los procesos que utilizan las herramientas controladas por computadora que son descendientes de la fábrica de control numérico de 1952 de mit. Pero la parte "digital" de esas herramientas reside en la computadora de control; Los materiales mismos son análogos. Un significado más profundo de "fabricación digital" son los procesos de fabricación en los que los materiales mismos son digitales. Varios laboratorios (incluido el mío) están desarrollando materiales digitales para el futuro de la fabricación. La distinción no es meramente semántica. Las llamadas telefónicas solían degradarse con la distancia porque eran analógicas: se acumulaba cualquier error por ruido en el sistema. Luego, en 1937, el matemático Claude Shannon escribió lo que podría decirse que fue la mejor tesis de maestría, en mit. En ella, demostró que los interruptores ON-OFF podían calcular cualquier función lógica. Aplicó la idea a la telefonía en 1938, mientras trabajaba en Bell Labs. Mostró que al convertir una llamada a un código de unos y ceros, se podía enviar un mensaje de manera confiable incluso en un sistema ruidoso e imperfecto. La diferencia clave es la corrección de errores: si uno se convierte en un 0.9 o un 1.1, el sistema aún puede distinguirlo de un cero. En mit, la investigación de Shannon había sido motivada por la dificultad de trabajar con una computadora analógica mecánica gigante. Usaba ruedas y discos giratorios, y sus respuestas empeoraban a medida que corría. Los investigadores, incluidos John von Neumann, Jack Cowan y Samuel Winograd, mostraron que la digitalización de datos también podría aplicarse a la informática: una computadora digital que representa la información como unos y ceros puede ser confiable, incluso si sus partes no lo son.

La digitalización de datos es lo que hizo posible llevar lo que alguna vez se habría llamado una supercomputadora en el teléfono inteligente en el bolsillo. **Estas mismas ideas ahora se están aplicando a los materiales.**

Para comprender la diferencia de los procesos utilizados hoy en día, compare el rendimiento de un niño que ensambla piezas de lego con el de una impresora tridimensional. Primero, debido a que las piezas de lego deben estar alineadas para encajar, su posición final es más precisa de lo que las habilidades motoras de un niño generalmente permitirían. Por el contrario, el proceso de impresión en 3-d acumula errores (como puede atestiguar cualquiera que haya observado una impresión en 3-D que se ha estado construyendo durante algunas horas solo para descubrir que ha fallado debido a una adhesión imperfecta en las capas inferiores). En segundo lugar, las piezas de lego definen su espacio, permitiendo que una estructura crezca a cualquier tamaño. Una impresora tridimensional está limitada por el tamaño del sistema que coloca el cabezal de impresión. En tercer lugar, las piezas de lego están disponibles en una gama de materiales diferentes, mientras que las impresoras 3-d tienen una capacidad todavía algo limitada para usar materiales diferentes, porque todo debe pasar por el mismo proceso de impresión. Cuarto, una construcción de lego que ya no se necesita se puede desmontar y reutilizar las piezas; cuando ya no se necesitan piezas de una impresora tridimensional, se desechan. Estas son exactamente las diferencias entre un sistema analógico (la deposición continua de la impresora tridimensional) y uno digital (el conjunto de lego).

La digitalización del material no es una idea nueva. Tiene cuatro mil millones de años y se remonta a la edad evolutiva del ribosoma, la proteína que produce proteínas. Los humanos están llenos de maquinaria molecular, desde los motores que mueven nuestros músculos hasta los sensores en nuestros ojos. El ribosoma construye toda esa maquinaria a partir de una versión microscópica de piezas de lego, aminoácidos, de los cuales hay 22 tipos diferentes. La secuencia para ensamblar los aminoácidos se almacena en el ADN y se envía al ribosoma en otra proteína llamada mensajero ARN. El código no solo describe la proteína que se fabricará; se convierte en la nueva proteína.

Los laboratorios como el mío ahora están desarrollando ensambladores (maquinas de fabricación digitales) tridimensionales (en lugar de impresoras) que pueden construir estructuras de la misma manera que el ribosoma. Los ensambladores podrán agregar y eliminar partes de un conjunto discreto. Uno de los ensambladores que estamos desarrollando trabaja con componentes que son un poco más grandes que los aminoácidos, un grupo de átomos de aproximadamente diez nanómetros de largo (un aminoácido mide aproximadamente un nanómetro de largo). Estos pueden tener propiedades que los aminoácidos no pueden tener, como ser buenos conductores eléctricos o imanes. El objetivo es utilizar el nanoensamblador para construir nanoestructuras, como circuitos integrados tridimensionales. Otro

ensamblador que estamos desarrollando utiliza piezas en la escala de micras a milímetros. Nos gustaría que esta máquina haga las placas de circuitos electrónicos en las que se activan los circuitos integrados tridimensionales. Sin embargo, otro ensamblador que estamos desarrollando utiliza piezas en la escala de centímetros, para hacer estructuras más grandes, como componentes de aviones e incluso aviones enteros que serán más ligeros, más fuertes y más capaces que los aviones de hoy en día: piense en un avión jumbo que puede batir sus alas.

Una diferencia clave entre las impresoras 3-d existentes y estos ensambladores es que los ensambladores podrán crear sistemas funcionales completos en un solo proceso. Podrán integrar estructuras mecánicas fijas y móviles, sensores y actuadores, y electrónica. Aún más importante es lo que los ensambladores no crean: **basura**.

La basura es un concepto que se aplica solo a materiales que no contienen suficiente información para ser reutilizables.

Todo el material del suelo forestal se recicla una y otra vez. Del mismo modo, un producto ensamblado a partir de materiales digitales no necesita ser desechado cuando se vuelve obsoleto. Simplemente se puede desmontar y reconstruir las piezas en algo nuevo. Lo más interesante que puede ensamblar un ensamblador es en sí mismo. Por ahora, se fabrican con los mismos tipos de componentes que se usan en las máquinas de creación rápida de prototipos. Eventualmente, sin embargo, el objetivo es que puedan hacer sus propias partes. La motivación es práctica.

El mayor desafío para construir nuevos FabLabs en todo el mundo no ha sido generar interés o enseñar a las personas cómo usarlos, ni siquiera el costo; Ha sido la logística. La burocracia, los controles fronterizos incompetentes o corruptos y la incapacidad de las cadenas de suministro para satisfacer la demanda han obstaculizado nuestros esfuerzos para enviar las máquinas a todo el mundo. Cuando estemos listos para enviar ensambladores, será mucho más fácil enviar componentes de material digital a granel y luego enviar los códigos de diseño a un laboratorio fabuloso para que un ensamblador pueda hacer otro. La autorreplicación de los ensambladores también es esencial para su escalamiento. Los ribosomas son lentos y agregan algunos aminoácidos por segundo. Pero también hay muchos de ellos, decenas de miles en cada uno de los billones de células en el cuerpo humano, y pueden hacer más de sí mismos cuando sea necesario. Del mismo modo, para que coincida con la velocidad del replicador de Star Trek, muchos ensambladores deben poder trabajar en paralelo.

GOO (SUCIEDAD) GRIS

¿Hay peligros para este tipo de tecnología? En 1986, el ingeniero Eric Drexler, cuya tesis doctoral en MIT fue la primera en nanotecnología molecular, escribió sobre lo que él llamó "grey goo", un escenario del fin del mundo en el que un sistema de auto-reproducción se multiplica sin control, se extiende por la tierra, y consume todos sus recursos. En 2000, Bill Joy, un pionero de la informática, escribió en la revista Wired sobre la amenaza de que los extremistas construyan armas de destrucción masiva auto-reproductivas. Llegó a la conclusión de que hay algunas áreas de investigación que los humanos no deberían seguir. En 2003, un príncipe preocupado le pidió a la Royal Society, la comunidad de eminentes científicos del Reino Unido, que evaluara los riesgos de la nanotecnología y los sistemas autorreplicantes. Aunque es alarmante, el escenario de Drexler no se aplica a los ensambladores de autorreproducción que ahora están en desarrollo: estos requieren una fuente de energía externa y la entrada de materiales no naturales. Aunque la guerra biológica es una preocupación seria, no es nueva; Ha habido una carrera armamentista en biología desde los albores de la evolución. Una amenaza más inmediata es que la fabricación digital podría usarse para producir armas de destrucción individual. Un armero aficionado ya ha utilizado una impresora tridimensional para hacer que el receptor inferior de una falla semiautomática, el AR-15. Esta parte fuertemente regulada contiene las balas y lleva el número de serie del arma. Un pirata informático alemán hizo copias tridimensionales de las llaves de la policía cuidadosamente controladas. Dos de mis propios estudiantes, Will Langford y Matt Keeter, hicieron llaves maestras, sin acceso a los originales, para candados de equipaje aprobados por la Administración de Seguridad del Transporte de EE. UU. Radiografiaron las cerraduras con un escáner CT en nuestro laboratorio, usaron los datos para construir un modelo tridimensional de las cerraduras, calcularon cuál era la clave maestra y luego produjeron claves de trabajo con tres procesos diferentes: fresado controlado numéricamente, Impresión tridimensional, y moldeo y fundición.

Este tipo de anécdotas ha llevado a llamadas para regular las impresoras 3-D. Cuando he informado a salas de analistas de inteligencia o líderes militares sobre fabricación digital, algunos de ellos han concluido invariablemente que la tecnología debe restringirse. Algunos han sugerido modelar los controles después de los que se colocan en las impresoras láser a color. Cuando apareció por primera vez ese tipo de impresora, se utilizó para producir billetes falsos. Aunque las facturas falsas eran fácilmente detectables, en la década de 1990 el Servicio Secreto de los EE. UU. Convenció a los fabricantes de impresoras láser para que acordaran codificar cada dispositivo para que imprimiera pequeños puntos amarillos en cada página que imprimiera. Los puntos son invisibles a

simple vista, pero codifican la hora, la fecha y el número de serie de la impresora que los imprimió. En 2005, la Electronic Frontier Foundation, un grupo que defiende los derechos digitales, decodificó y publicitó el sistema.

Esto llevó a una protesta pública por las impresoras que invaden la privacidad de las personas, una práctica continua que se estableció sin aportes públicos o controles aparentes. Justificado o no, el mismo enfoque no funcionaría con impresoras 3-d. Solo unos pocos fabricantes fabrican los motores de impresión en impresoras láser. Entonces, un acuerdo entre ellos hizo cumplir la política en toda la industria. No hay una parte correspondiente para las impresoras 3-d. Las piezas que aún no pueden fabricar los propios fabricantes de máquinas, como chips de computadora y motores paso a paso, son artículos de consumo: se producen en masa y se utilizan para muchas aplicaciones, sin un punto central de control. Las piezas que son exclusivas de la impresión tridimensional, como los alimentadores de filamentos y los cabezales de extrusión, no son difíciles de fabricar. Las máquinas que fabrican máquinas no se pueden regular de la misma manera que las máquinas fabricadas por algunos fabricantes. Incluso si las impresoras tridimensionales pudieran controlarse, perjudicar a las personas ya es una demanda bien satisfecha en el mercado. Se pueden encontrar armas baratas en cualquier parte del mundo. La experiencia de CBA en la ejecución de laboratorios fabulosos en zonas de conflicto ha sido que se utilizan como una alternativa a la lucha. Y aunque las élites establecidas no ven la tecnología como una amenaza, su presencia puede desafiar su autoridad. Por ejemplo, el FabLab en Jalalabad, Afganistán, ha brindado acceso inalámbrico a Internet a una comunidad que ahora, por primera vez, puede aprender sobre el resto del mundo y extender su propia red.

Una preocupación final sobre la fabricación digital se relaciona con el robo de propiedad intelectual. Si los productos se transmiten como diseños y se producen bajo demanda, ¿qué se puede hacer para evitar que esos diseños se repliquen sin permiso? Ese es el dilema al que se han enfrentado las industrias de la música y el software. Su respuesta inmediata —la introducción de tecnología para restringir la copia de archivos— falló. Esto se debe a que la tecnología fue fácilmente eludida por aquellos que querían hacer trampa y era irritante para todos los demás. La solución fue desarrollar tiendas de aplicaciones que hicieran que sea más fácil comprar y vender software y música legalmente. Los archivos de diseños de fabricación digital se pueden vender de la misma manera, atendiendo intereses especializados que no apoyarían la fabricación en masa. Las protecciones de patentes en los diseños de fabricación digital solo pueden funcionar si existe alguna barrera de entrada al uso de la propiedad intelectual y si se puede identificar una

infracción. Esto se aplica a los productos fabricados en costosas fabricas de circuitos integrados, pero no a los fabricados en los FabLabs disponibles. Cualquier persona con acceso a las herramientas puede replicar un diseño en cualquier lugar; No es factible litigar contra el mundo entero. En lugar de tratar de restringir el acceso, han surgido negocios florecientes de software que comparten libremente sus códigos fuente y son compensados por los servicios que brindan. La difusión de las herramientas de fabricación digital ahora está llevando a una práctica correspondiente para el hardware de código abierto.

PLANIFICACIÓN DE INNOVACIÓN

Las comunidades no deben temer o ignorar la fabricación digital. Mejores formas de construir cosas pueden ayudar a construir mejores comunidades. Un FabLab en Detroit, por ejemplo, dirigido por el empresario Blair Evans, ofrece programas para jóvenes en riesgo como un servicio social. Les permite diseñar y construir cosas basadas en sus propias ideas. Es posible aprovechar los beneficios de la fabricación digital de varias maneras. Uno es de arriba hacia abajo. En 2005, Sudáfrica lanzó una red nacional de FabLabs para fomentar la innovación a través de su Estrategia Nacional de Tecnología de Fabricación Avanzada. En los Estados Unidos, el Representante Bill Foster (D-Ill.) Propuso legislación, la Ley de la Red Nacional de Laboratorios Fab de 2010, para crear un laboratorio nacional que vincule los FabLab locales. El sistema de laboratorio nacional existente alberga instalaciones de miles de millones de dólares, pero lucha por impactar directamente a las comunidades que las rodean. El proyecto de ley de Foster propone un sistema que, en cambio, llevaría los laboratorios a las comunidades. Otro enfoque es de abajo hacia arriba. Muchos de los sitios de fabulosos laboratorios existentes, como el de Detroit, comenzaron como organizaciones informales para abordar las necesidades locales no satisfechas. Estos se han unido a los programas regionales. Estos programas regionales, como la Red de Laboratorios Fab de los Estados Unidos y FabLab.nl, en Bélgica, Luxemburgo y los Países Bajos, asumen tareas que son demasiado grandes para un laboratorio individual, como apoyar el lanzamiento de nuevas. Los programas regionales, a su vez, se están uniendo a través de la Fundación Fab internacional, que brindará apoyo para los desafíos mundiales, como la obtención de materiales especializados en todo el mundo.

Para mantenerse al día con lo que la gente está aprendiendo en los laboratorios, la red de fab lab ha lanzado la Academia Fab. Los niños que trabajan en laboratorios remotos fabulosos han progresado tanto más allá de cualquier oportunidad educativa local que tendrían que viajar lejos a una institución avanzada para continuar sus estudios. Para evitar tales

drenajes cerebrales, la Academia Fab ha vinculado los laboratorios locales en un campus global. Junto con el acceso a las herramientas, los estudiantes que van a estos laboratorios están rodeados de compañeros para aprender y tienen mentores locales para guiarlos. Participan en video conferencias globales interactivas y comparten proyectos y materiales de instrucción en línea.

El modelo tradicional de educación avanzada supone que la facultad, los libros y los laboratorios son escasos y solo unos pocos miles de personas pueden acceder a la vez. En términos informáticos, mit puede considerarse como un mainframe: los estudiantes viajan allí para su procesamiento. Recientemente, ha habido un interés en el aprendizaje a distancia como una alternativa, para poder manejar a más estudiantes. Sin embargo, este enfoque es como compartir el tiempo en un mainframe, con los estudiantes distantes como terminales conectadas a un campus. La Academia Fab es más parecida a Internet, conectada localmente y administrada globalmente. La combinación de comunicaciones digitales y fabricación digital efectivamente permite que el campus se acerque a los estudiantes, quienes pueden compartir proyectos que se producen localmente bajo demanda.

La Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos pronostica que en 2020, los Estados Unidos tendrán aproximadamente 9.2 millones de empleos en los campos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Según los datos recopilados por el National Science Board, el grupo asesor de la National Science Foundation, los títulos universitarios en estos campos no han seguido el ritmo de la matrícula universitaria. Y las mujeres y las minorías permanecen significativamente subrepresentadas en estos campos. La fabricación digital ofrece una nueva respuesta a esta necesidad, comenzando desde el comienzo de la tubería. Los niños pueden ingresar a cualquiera de los fabulosos laboratorios y aplicar las herramientas a sus intereses. La Academia Fab busca equilibrar el entusiasmo descentralizado del movimiento de hacer hágalo usted mismo y la tutoría que proviene de hacerlo juntos. Después de todo, la verdadera fuerza de un laboratorio fabuloso no es técnica; Es social. Las personas innovadoras que impulsan una economía del conocimiento comparten un rasgo común: por definición, no son buenas para seguir las reglas. Para poder inventar, las personas necesitan cuestionar suposiciones. Necesitan estudiar y trabajar en entornos donde sea seguro hacerlo. Las instituciones educativas y de investigación avanzadas tienen espacio para solo unos pocos miles de esas personas cada una. Al brindar entornos acogedores a los innovadores donde sea que se encuentren, esta revolución digital permitirá aprovechar una fracción mayor de la capacidad intelectual del planeta.

La fabricación digital consiste en mucho más que la impresión tridimensional. Es un conjunto de capacidades en evolución para convertir datos en cosas y cosas en datos. Quedan muchos años de investigación para completar esta visión, pero la revolución ya está en marcha.

El desafío colectivo es responder a la pregunta central que plantea: ¿Cómo viviremos, aprenderemos, trabajaremos y jugaremos cuando alguien pueda hacer algo, en cualquier lugar?