

COMENTARIOS SOBRE LA FABRICACIÓN DIGITAL DISTRIBUIDA –MAKERS Y FAB LABS– Y ECONOMÍA COLABORATIVA

JOSÉ PÉREZ DE LAMA HALCÓN¹

*Profesor Titular de Universidad
Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas
Universidad de Sevilla*

CÉSAR GARCÍA SÁEZ²

*Ingeniero de Telecomunicaciones
Make Space Madrid & EOOO Descubre*

1. INTRODUCCIÓN

“Cabe preguntarse si los inventos mecánicos hechos hasta ahora han aliviado el trabajo cotidiano de algún ser humano” [escribía Mill, a lo que Marx añade:] Mill debiera haber dicho, “de algún ser humano que no sea alimentado por el trabajo de otros,” pues la maquinaria ha aumentado mucho, sin lugar a dudas, el número de ociosos distinguidos”. Karl Marx, 1867³

Fabricación digital es la etiqueta que viene usándose desde finales del siglo XX para describir aquellos procesos de producción de bienes materiales

¹ José Pérez de Lama Halcón es profesor Titular de Universidad adscrito al Departamento de Historia, Teoría y Composición Arquitectónicas de la Universidad de Sevilla. Fue fundador del Fab Lab Sevilla, Universidad de Sevilla, habiendo sido su director entre 2009 y 2017. Ha editado diversos volúmenes sobre fabricación digital y fablabs (serie “Fab Lab Sevilla”, 2010, 2011, 2014, 2017). Graduado Fab Academy 2014.

² César García Sáez es miembro fundador de Make Space Madrid y de la asociación EOOO Descubre, director-fundador del espacio informativo sobre makers y fab labs *La Hora Maker*, autor de diversos libros sobre el tema (2015, 2016), así como uno de los principales dinamizadores de las redes de fab labs y makers en España. Graduado Fab Academy 2013.

³ Karl MARX, 2007 (edición original de 1867), *El Capital*. Libro 1 Tomo III, Akal, Madrid; p. 79.

que partiendo de modelos o diseños digitales⁴ emplean máquinas y equipos controlados por ordenador. Estos procesos y equipos sustituyen, al menos en parte, a los operarios humanos más o menos especializados que los protagonizaban anteriormente. Estas nuevas prácticas posibilitan, además y entre otras cuestiones, una mayor flexibilidad de los procesos y una mayor precisión y eficacia. Sin que sea una característica estrictamente derivada del concepto de fabricación digital, estos nuevos productos “concebidos en pantallas” (Sterling, 2005) y fabricados con sistemas robotizados tienden a incorporar lo que se suele denominar “inteligencia”, esto es, la capacidad de obtener, información de su entorno, procesarla y *actuar*, así como de comunicarse con la Red.

Es un lugar común, al menos en ciertos ámbitos, describir la creciente difusión de este tipo de equipos y procesos como una *Tercera revolución digital*⁵ (Gershenfeld, 2005, 2012, 2017); una revolución que cabalgaría sobre las precedentes revoluciones digitales, de la computación y la comunicación, ocurridas a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. Los promotores de esta visión plantean el paralelismo con lo ocurrido en las revoluciones precedentes, a saber, la incorporación a todos los aspectos de la vida social e individual de la computación y la comunicación digitales, que podríamos ilustrar con la omnipresencia de los ordenadores personales y los *smartphones* en nuestras vidas cotidianas. En este sentido se habla de la emergencia de la *fabricación personal*.

El movimiento de *makers* y *fab labs*, con relevantes conexiones con la tradición del software y la cultura libres, constituiría la parte del universo de la fabricación digital más explícitamente relacionada con la fabricación comunitaria y personal, con importantes dimensiones colaborativas.

Abordaremos aquí, entonces, primero la cuestión de la fabricación digital en un sentido amplio, y a continuación su declinación colaborativa, –comunitaria y personal–, tratando de presentar y discutir, por un lado, su realidad actual, y por otro, los diferentes escenarios de futuro con los que el movimiento viene experimentando y sobre los que investigadores diversos vienen debatiendo.

La posición desde la que los autores desarrollan el presente estudio puede caracterizarse por dos circunstancias. La primera es que se plantea desde la

⁴ Las principales familias técnicas de los procesos digitales aplicadas en este ámbito serían: el CAD, Diseño Asistido por Ordenador, el CAE, Ingeniería Asistida por Ordenador y el CAM, Manufactura o fabricación asistida por ordenador (los tres por sus siglas en inglés).

⁵ La terminología y numeración de las revoluciones tecnológicas es bastante diversa. En años recientes, por ejemplo, RIFKIN (2011) propuso que actualmente estaríamos en el inicio de una tercera revolución *industrial*, caracterizada por la convergencia de las energías renovables e Internet. Gershenfeld plantea otra mirada, centrada en las tecnologías digitales: en su sistema, la primera revolución *digital* sería la de la computación, la segunda la de la comunicación y la tercera la de la fabricación.

propia experiencia de los autores, en tanto que participantes, en cierto grado pioneros, en el mundo de los *makers* y fab labs. En segundo lugar se tratará de posicionamiento que aspira a construir una perspectiva transversal, tecnológica, pero a la vez social, política, económica y cultural, partiendo de la idea de que los sistemas tecnológicos forman parte y se construyen en estrecha imbricación con las relaciones sociales y las formas de vida de cada tiempo, incluyendo en éstas las prácticas económicas.

El trabajo se desarrolla en varios apartados relativamente autónomos. Tras esta introducción, se presenta una discusión (2.) sobre los términos colaboración y cooperación en relación con la historia de las tecnologías y prácticas digitales. A continuación (3.) se explica en mayor detalle la fabricación digital en su sentido más general. Seguidamente (4.) se aborda el movimiento fab lab, uno de los modelos más destacados y auto-reflexivos del sector de la fabricación digital colaborativa, el cual se presenta mediante tres aproximaciones. La primera (4.1.) describe el origen y los principios de la red fab lab; la segunda (4.2.), más especulativa, presenta lo que podría describirse como un panorama subjetivo de los participantes en este movimiento: ¿qué hacen los fabbers y cuáles son las razones y deseos que los mueven?; la tercera (4.3.) expone y comenta el llamado mapa de ruta de la red fab lab, trazado fundamentalmente por Neil Gershenfeld, el líder de la red, en el que se despliega su visión del desarrollo de la tecnología a 50 años vista, junto con algunas de sus posibles implicaciones sociales. A continuación (5.), al hilo de una serie de diagramas, se discuten algunas de las principales problemáticas derivadas de las secciones precedentes, tratando de resituar, con una mirada más transversal, las cuestiones tecnológicas. La sección se cierra con una serie de escenarios de futuro donde se trata de situar la fabricación digital comunitaria en sistemas sociales y políticos más complejos que los habitualmente planteados desde las perspectivas tecno-científicas. El texto termina con unas modestas conclusiones provisionales (6.), que resultan ser, sobre todo, nuevas preguntas.

Dada la extensión y el carácter más bien descriptivo del texto, los/as lectores/as que estén familiarizados con la temática de la fabricación digital quizá pudieran preferir dirigirse directamente a las secciones en las que se hacen nuevas aportaciones, que a juicio de los autores son el apartado 4.2., que se llamó *panorama subjetivo* de los fab labs y el apartado 5.3. donde se proponen y comentan posibles escenarios de futuro.

2. SOBRE COLABORACIÓN Y COOPERACIÓN Y TECNOLOGÍAS DIGITALES

Colaboración y cooperación son dos palabras interesantes. Aunque hoy puedan tener connotaciones diferentes, etimológicamente vienen a significar lo mismo. Procedentes del latín, según confirma mi consulta del Merriam

Webster,⁶ vendrían de *co (cum) laborare* y *co (cum) operari*. *Operari*, en latín, significaba trabajar, ser eficaz, producir, producir un efecto. A su vez *opus, opera*, sería *obra*, la misma raíz que en obrero, por ejemplo, aunque en el original latino el énfasis parece que estaría más en el trabajo, el esfuerzo... que en la obra o el producto mismo. La etimología en cualquier caso parece antigua y su evolución presenta una cierta complejidad.

En la familia de colaborar, estarían *labour* en inglés (o *labor* en inglés americano) sinónimo de trabajo en su sentido más político (como en el *Labour Party* del Reino Unido); *labor* en español y día *laborable*; y también *laboratorio*, término de moda en años recientes con un cierto paralelo con el de trabajo colaborativo.

El primer uso reconocido en inglés de *cooperate* sería del siglo XVI, siempre según la fuente citada. El primer uso conocido en inglés de *collaborate* sería de finales del siglo XIX, tres siglos posterior, por tanto. Es curioso que especialmente *colaborar* puede usarse con connotaciones peyorativas, como en *colaboracionista*, mientras que cooperar se puede usar en un sentido más ambiguo, como por ejemplo en la frase, “cooperar en una investigación policial;” - la primera acepción de cooperación propuesta por el Merriam Webster iría en este sentido: “las acciones de alguien que es de ayuda haciendo algo que se le requiere o pide.”⁷ Según señala el mismo diccionario éste es el sentido con el que el término se introduce en inglés en el siglo XVI.

Cooperación, más que colaboración, como en *cooperativa*, fue una palabra adoptada por el pensamiento y los movimientos anarquistas y del llamado socialismo utópico, o próximos, en el siglo XIX, y que continúa con esta connotación hasta nuestros días como uno de los modelos de relaciones de trabajo alternativas a las del capitalismo. Sería el universo del *fraternalismo* de Robert Owen (1771-1852) y de la ayuda mutua - en el ámbito del trabajo y también de la reproducción social - desarrollado, entre otros, por Kropotkin (1842-1921). El Merriam Webster recoge este sentido en su segunda acepción de cooperación: “asociación de personas para el beneficio común.”⁸ Algunas de las acepciones de *colaborar (collaborate)* próximas a la idea precedente serían: (1), trabajar en unión con o junto a otros, especialmente en un esfuerzo intelectual; y (3), cooperar con una agencia o medio con el que uno no está inmediatamente conectado.⁹

⁶ Procediendo el reciente énfasis en lo colaborativo del universo angloparlante puede ser oportuno, como hago aquí, explorar los significados en inglés de lo colaborativo y cooperativo así como sus “trayectorias semánticas”.

⁷ Cooperation (1): *the actions of someone who is being helpful by doing what is wanted or asked for: common effort.*

⁸ Cooperation (2): *association of persons for common benefit.*

⁹ Collaborate: (1): *to work jointly with other or together especially in an intellectual endeavour*, (3): *to cooperate with an agency or instrumentality with which one is not immediately connected.* La segunda acepción en inglés sería la que correspondería al *colaboracionista* en español.

Por su parte, en lo que quizás sea una perspectiva opuesta a la kropotkiniana, Marx dedica un capítulo del *Capital* (1867) a la cooperación, -capítulo que se encuentra en la parte del primer volumen cuyo objeto es el estudio de lo que denominó *plusvalía relativa* (Libro I, capítulo XI). La plusvalía relativa, por recordar el significado del concepto, describiría aquellas formas de incremento de la creación de valor en el proceso de producción que no derivan del aumento del número de horas de trabajo (plusvalía absoluta) sino de la intensificación y las mejoras en el proceso de producción, ya sean organizativas, ya tecnológicas. La idea principal del estudio de la cooperación por parte de Marx es que ésta da lugar a un aumento de la productividad respecto del trabajo hecho individualmente por parte de los obreros, y que organizar y dirigir la cooperación constituye uno de los primeros recursos del capital para aumentar sus beneficios. Marx lo representa en el paso en la producción textil de las *cottage industries*, el trabajo en las casas de los propios obreros en la que se implicaban todos los miembros de la familia, a la reunión de los trabajadores en el espacio común de las primeras fábricas o proto-fábricas. Para Marx, el siguiente paso en este proceso sería el de la división del trabajo que había analizado previamente Adam Smith en su también célebre *Una indagación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones* (1776). Habiendo sido un defensor del trabajo colaborativo/cooperativo durante las primeras etapas de la transformación digital no dejó de sorprenderme la lectura de estas páginas de Marx que hoy creo entender con mayor claridad. Algunos comentarios sobre este asunto algo más adelante.

Vemos pues, que como se expone en el muy relevante *Keywords* de Raymond Williams, las palabras, especialmente las que designan ideas y conceptos políticos, son objetos altamente mutantes a lo largo de la historia, particularmente, en diálogo con los objetos o campos igualmente mutantes que se proponen denotar. Ni cooperación ni colaboración aparecen recogidas específicamente en *Keywords*. Siendo éste un diccionario de las palabras claves en la cultura académica de habla inglesa entre la posguerra y la década de 1980, esta ausencia resulta sintomática: la renovación del interés en lo cooperativo-colaborativo es algo que ocurre a partir de aquella década.

Cabe señalar, también, abriendo aún más el campo de observación, que una cierta dimensión de lo colaborativo y/o cooperativo están necesariamente presentes en el ciclo económico de cualquier sociedad, tanto en el trabajo de cualquier empresa, como en la división social del trabajo, en los *cadena de valor*, según se denominan últimamente, en las *supply chains* de ayer y de hoy, y también, en la interdependencia de producción, consumo y gestión de residuos, tome ésta última la forma que sea (destrucción, basuras, reciclaje, reutilización, etc.). Ciertamente, en las sociedades actuales que nos son más familiares, las capitalistas, estas múltiples formas de colaboración o cooperación están siempre en juego con diferentes niveles de competencia y otras formas de equilibrios

más o menos dinámicos (oferta y demanda, situaciones oligopolistas, *oligopsonistas*,¹⁰ etc.)

En todo caso, el nuevo énfasis en la idea de lo colaborativo resurge efectivamente entre las décadas de 1980 y 1990 en torno a las nuevas redes digitales, específicamente activado por realidades entonces emergentes como la WWW o el sistema operativo libre GNU-Linux, entre otras.¹¹ Ambos casos aparecían como proyectos transformadores de alcance global que no habían sido producidos en un marco empresarial o gubernamental clásico-industrial, sino en lo que entonces se empezó a describir como redes distribuidas, horizontales y, colaborativas. Uno de los primeros autores en identificar y teorizar este nuevo modelo colaborativo y horizontal fue Eric Raymond (1997), quien analizando la emergencia de Linux, célebremente, lo caracterizó como un modelo *bazar*, en oposición al modelo *catedral*; término con el que identificaba a las organizaciones *fordistas*, - verticales, jerárquicas, cerradas -, precedentes.¹² Raymond, con un cierto sentido determinista, lo veía como la forma natural en la que se materializaban las nuevas formas de producción de la *Sociedad red*.¹³ Poco a poco, se fue desarrollando y extendiendo el discurso de que las organizaciones de todo tipo, - desde empresas, a movimientos sociales, a, incluso, ejércitos¹⁴ -, que no se adaptaran a estos nuevos modos de producción, -reticulares, flexibles, horizontales...-, serían incapaces de competir en los nuevos escenarios digitales

¹⁰ Me permito este semi-neologismo a partir de *monopsonio*, el término que describe un monopolio de la demanda, típicamente de trabajo, esto es, cuando hay un sólo agente, o pocos en el caso del *oligopsonio*, demandando fuerza de trabajo, lo cual determina una situación de mercado desequilibrio en el intercambio.

¹¹ Para una introducción a estos desarrollos pueden verse, por ejemplo: HAFNER, 1996 (Internet), BERNERS-LEE, 2000 (WWW); y LEVY, 1984; RHEINGOLD, 2002; HIMANEN, 2002; o KELTY, 2008 (comunidades digitales, ética hacker, software libre). El interés por lo cooperativo recibe un nuevo impulso con las prácticas digitales, aunque en realidad el movimiento cooperativista nunca había desaparecido, como ilustran bien los ejemplos de Euskadi, con la famosa super-cooperativa Mondragón, o Andalucía.

¹² A pesar del éxito de la oposición bazar/catedral, la realidad es que las catedrales góticas a las que se hace referencia no se construyeron mediante un sistema estrictamente planificado y ordenado como el de una construcción contemporánea, sino mediante procesos basados en los maestros itinerantes, los saberes y la colaboración entre los diferentes oficios, así como en sistemas de *patterns*, más parecidos a las prácticas de las actuales redes de software libre que a los de una industria de la etapa moderna.

¹³ Sociedad red fue el término propuesto por Manuel CASTELLS, (1997) quien planteaba un análisis con paralelismos con el de Raymond aunque más extenso y detallado. David HARVEY (1987), centraba la problemática en el ámbito económico y territorial, con una perspectiva mucho más crítica, describiéndolo como un nuevo *modo de producción y acumulación flexible*.

¹⁴ Sobre el ejército, véase ARQUILLA & RONFELDT (2001); sobre las empresas, un texto más bien de divulgación pero muy sintomático es *Wikinomics* (TAPSCOTT, 2006), además del ya mencionado Castells; otro texto de aquellos años representativo de las nuevas actitudes y de gran influencia fue *New Rules for the New Economy: 10 Radical Strategies for a Connected World* (Penguin, 1999) del californiano Kevin KELLY (1999).

y globales, y estarían así condenadas a su progresiva extinción. Podía entonces decirse que el modelo Google, –al menos el de sus primeras encarnaciones, que luego se irían transformándose en otra cosa–, estaba sucediendo y sustituyendo al modelo Ford, algo así como cuando los mamíferos acabaron sustituyendo a los dinosaurios. Dinosaurio era en efecto un término usado con frecuencia para referirse a las empresas de la tradición industrial pre-digital.

Por otro lado, la etiqueta de lo colaborativo, o más precisamente las prácticas que la hicieron aparecer, capturaron la imaginación de muchísimas personas de todo el mundo. En nuestra interpretación, a nivel individual y social, aquello conectaba con los deseos heredados de la década de 1960, en la que efectivamente se habían dado buena parte de los primeros pasos de la revolución digital; deseos que tenían que ver con el antiautoritarismo, las libertades, la autonomía y la creatividad,¹⁵ así como también, aunque posiblemente en menor grado, con los ideales de igualdad y fraternidad. Lo colaborativo, sugería entonces la posibilidad de que las personas trabajaran con autonomía, con mayor libertad, desarrollando su propia creatividad, contribuyendo a la vez a objetivos comunes de los que todos se beneficiarían de manera más distribuida e igualitaria. La WWW hasta finales de los 90, quizás más que ningún otro proyecto digital colaborativo, demostraba cómo miles o millones de personas y pequeños grupos podían crear autónoma y libremente, a la vez que conectados a la misma red de redes, un mundo nuevo y extraordinario de comunicación, conocimientos compartidos, aprendizaje, afectos y nuevas comunidades. Para nosotros, un aspecto destacado de este carácter distribuido era el de la nueva *agencia* en la construcción del mundo que las entonces nuevas tecnologías ofrecían a los pioneros de las redes. Proyectos como la WWW, Linux y el software libre, o más tarde Wikipedia, hacían posible en un grado hasta entonces desconocido que todos los participantes pudieran convertirse en actores de sus propias historias y constructores de sus propios mundos, según lo habían formulado, por ejemplo, los situacionistas. Aquello era la sensación y el estado de ánimo, en fuerte contraste con el mundo precedente dominado por las grandes estructuras burocráticas y corporativas.

Quizás el principio *end-to-end* de Internet (Rheingold, 2002; Gershenfeld, 2017) representase mejor que ningún otro esta nueva condición que parecía hacer posible la compatibilización de la autonomía de los individuos y pequeños grupos con el proyecto común de la construcción de la Red: “la asociación de personas para el beneficio común”, que el Merriam Webster definía como cooperación. El célebre principio *end-to-end*, que constituye uno de los elementos clave del diseño de Internet, consistía en que la red en sí misma era un medio neutro para transportar información, y que era en los nodos (*ends*) donde, adaptándose a unos protocolos compartidos (originalmente, TCP/IP, HTTP y

¹⁵ Un buen análisis de este asunto, en especial de la centralidad del antiautoritarismo en este imaginario, en HOLMES 2001, *La personalidad flexible*.

DNS; Berners-Lee, 2000), se implementaban los diferentes objetos o funciones que la red transportaba. De esta manera, si alguien diseñaba la manera de codificar de acuerdo con los protocolos de la red el funcionamiento de un sistema de mensajes y otros nodos lo adoptaban se creaba el sistema de correo electrónico... y así hasta llegar hasta nuestras actuales experiencias audiovisuales, interactivas, sociales, etc. Esto es, el procesamiento principal de la información se realizaba en los nodos (clientes) según la hoy quizás mítica imagen de las red distribuida en la que todos los nodos se conectaban con todos sin jerarquía.¹⁶

Teniendo todo aquello sin duda un carácter emergente,¹⁷ diferentes autores fueron explicando cómo, sin embargo, existía un cierto marco, construido, entre lo tecnológico y lo social, que lo había hecho posible sin que existiera una planificación en un sentido convencional. Arquilla y Ronfeldt (2001), unos de los primeros analistas sobre las nuevas emergencias, pensando desde la perspectiva de la inteligencia militar de los Estados Unidos, caracterizaban las organizaciones reticulares, entre otras cuestiones, por la existencia de una *narrativa* y una *doctrina* compartidas.¹⁸ La narrativa tendría que ver con la dimensión informativa de los movimientos u organizaciones, ¿quiénes somos? ¿cuáles son nuestros objetivos? ¿por qué vamos a triunfar?, etc. La doctrina serían los principios y prácticas compartidos. Particularmente los principios tendrían que ver con el pretendido beneficio mutuo del que hablábamos cuando definíamos la cooperación. Esta doctrina compartida sería la que haría que unidades o grupos relativamente autónomos pudieran avanzar hacia un fin común sin la necesidad de una cadena de mando y una supervisión más o menos férreas como las de las organizaciones de etapas precedentes, ni siquiera con una comunicación permanente entre todos los participantes, dando esto lugar a importantes ventajas estratégicas y tácticas.

Desde una perspectiva antropológica, Christopher Kelty (2008) estudiaba algunos años después el caso del software libre, haciendo a nuestro juicio significativas aportaciones. En su análisis planteaba cinco temáticas que explicaban, o al menos permitían comprender mejor, la emergencia del software libre, como son, la construcción de un movimiento, la compartición del código fuente, la concepción de los sistemas abiertos, el diseño de las licencias libres y, la organización y coordinación de la colaboración. No vamos a entrar a discutir estas cuestiones en esta ocasión, pero sí cabe señalar que se trata en todos los

¹⁶ A idea de red distribuida la formaliza en Paul BARAN (1962), investigador de la Rand Corporation, Los Ángeles, en contraste con los modelos de redes más conocidas hasta entonces, centralizado y descentralizado.

¹⁷ Para una introducción general a las cuestiones de los sistemas emergentes puede verse Steven JOHNSON, 2002, *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*.

¹⁸ ARQUILLA & RONFELDT (2001) proponían las siguientes categorías para la caracterización y el estudio de las nuevas redes políticas: organización, narrativa, doctrina, tecnología y base social. Para un comentario resumido puede verse PÉREZ DE LAMA, 2007:379.

items, salvo quizás el primero, de construcciones socio-técnicas, que en ninguno de los casos eran obvias, triviales o estaban previamente dadas, sino que fueron el resultado de la creatividad y las aspiraciones de unos y otros, de las relaciones de fuerza entre los diferentes agentes implicados dentro y fuera del sistema, de las condiciones de contorno y, también, de contingencias diversas, que Kely trata de estudiar y discutir en detalle. Ostrom (2008), que recibiera el premio Nobel de economía por sus estudios sobre los *commons*, también constituye otra referencia habitual en este campo. Su perspectiva, de nuevo, plantea este tipo de entornos colaborativos como sistemas sociotécnicos que componen una cierta comunidad, un recurso existente o producido por la comunidad y, unas tecnologías y normas que viabilizan su gestión.¹⁹ Por citar una cuarta aproximación, en el último libro de Neil Gershenfeld (2017), hasta la fecha el gurú más destacado de la fabricación digital *personal y comunitaria*, se plantea igualmente el necesario diálogo entre tecno-ciencia y organización social para su evolución en sentidos que contengan dimensiones emancipadoras. Gershenfeld, en esta ocasión en colaboración con dos de sus hermanos, desde un punto de vista bastante pragmático, plantea elementos como las redes, las plataformas, las prácticas compartidas y los ecosistemas habilitantes como medios y condiciones para orientar y posibilitar el desarrollo de la tecnología en la dirección que estiman deseable.

La cuestión de la producción distribuida, horizontal y colaborativa, planteaba –y plantea–, sin embargo, una segunda cuestión de importancia, como es la de la distribución de los ingresos derivados de esta *riqueza* producida en las redes entre los diferentes agentes implicados. Durante los primeros años, el entusiasmo generado por el nuevo escenario dio lugar a que muchos de los participantes lo hicieran sin recibir, directamente, retribuciones económicas. En aquellos años se debatía sobre la *economía del don –gift economy–*, sobre la reputación entre pares y sobre retribuciones indirectas a través de la experiencia y el prestigio adquiridos y de las redes construidas. Ciertas áreas del software libre sí que desarrollaron modelos de ingresos consistentes, pero en general éste era un aspecto del nuevo escenario que quedaba poco resuelto (y que sigue estando en similares condiciones). Poniéndolo en una perspectiva más amplia, la de la crisis del modelo industrial-moderno, el ya mencionado Brian Holmes (2001) proponía un interesante análisis que me sigue pareciendo de interés. Consideraba Holmes que en la impugnación del sistema moderno-industrial que se hizo en torno a la década de 1960 podían diferenciarse dos aspectos. Por un lado, hablaba de una *crítica artística*, cuyo objeto habrían sido las formas de vida, y que era la caracterizada por el anti-autoritarismo, la reivindicación de la autonomía y la creatividad; por otro lado, habría estado lo que llama la *crítica de la explotación*, que tendría que ver fundamentalmente con el acceso a ingresos y otros derechos sociales y laborales. Según su diagnóstico, la crítica artística

¹⁹ La cuestión de los *commons*, o *procomunales* en español/castellano, ha sido un tema de referencia en el análisis de estas cuestiones durante las últimas décadas.

habría sido asumida y en cierto modo capturada por un capitalismo mutante, mientras que la de la explotación habría quedado velada o anulada.

Volviendo al mundo del trabajo digital, un lugar común era y sigue siendo el de la reducción de las barreras de entrada a la actividad productiva y empresarial: casi cualquiera, con muy pocos recursos, podía montar una empresa *on line* y, según otro tópico de la época, encontrar en el *long tail* (Anderson, 2006) del mercado su propio nicho de clientes interesados en productos a su exacta medida, siendo capaz de competir eficientemente con los grandes monstruos, rígidos e implicados producir para un consumidor medio realmente inexistente. etc. Como sabemos, la historia no resultó exactamente así. La crisis de las punto-com de 2001, probablemente represente la crisis de aquel modelo. Y lo que ocurrió realmente fue la construcción de nuevas instancias poderosamente centralizadas, –Google, Amazon, Apple, Facebook, Windows... todas ellas salvo Windows y Apple aparecidas de forma efectiva después de 2001–, que han dado lugar a un escenario bastante diferente. Una de las denominaciones iniciales que se dio a este nuevo modo de producción fue el del capitalismo cognitivo (Corsani *et al.*, 2004). Comparto el análisis propuesto por diversos autores (Hardt & Negri, 2009; Wark, 2014) de que un aspecto fundamental de estas nuevas empresas globales consiste en haber construido dispositivos que a la vez que multiplican y dirigen los procesos sociales colaborativos que suceden en torno a las redes, les permite capturar de manera oligopolista la mayor parte del valor producido por esta cooperación global. Proyectos empresariales más recientes, como puedan ser Airbnb o Uber, que comenzaron siendo descritos como *sharing economy*, –economía colaborativa en su versión en español–, nos muestran estas estrategias de acción de manera aún más explícitas.²⁰ El impacto global de estas nuevas instancias centralizadoras es tan importante, que autores como Benjamin Bratton (2015) están recibiendo cierta atención en los entornos especializados, discutiendo acerca de la emergencia nuevas formas de soberanía ligadas a estas mega-plataformas digitales, en intensa competencia con la de las naciones y asociaciones supranacionales que caracterizaron el siglo XX.

3. INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN DIGITAL

Los antecedentes expuestos deben ser tenidos en cuenta para pensar el presente y los futuros virtuales de la fabricación digital que ahora pasamos a introducir. Para muchos autores, incluso para ciertas instancias gubernamentales, la fabricación digital constituye una de las nuevas fronteras del desarrollo digital (Gershenfeld, 2005, 2017; Anderson, 2012, Comisión Europea²¹). Como se

²⁰ Estas cuestiones se estudiarán en mayor detalle en otras contribuciones al presente volumen, aunque se ha considerado conveniente recogerlas aquí para contextualizar las problemáticas y preguntas que nos plantea el futuro de la fabricación digital.

²¹ La Comisión Europea viene utilizando la etiqueta *Cuarta Revolución Industrial* que caracteriza por la convergencia de tecnologías como Internet of Things, big data, robótica, sistemas basados en inteligencia artificial y fabricación aditiva, éste último, uno de los términos (...)

presentaba al inicio, lo que se entiende por fabricación digital consiste en, valga la redundancia, la digitalización de todos los procesos que componen la antigua *manu-factura* sobre la que se basara en su día la revolución industrial. Comienza por el diseño y la ingeniería digital de los objetos a producir generando archivos digitales que los representan, y continúa por su efectiva producción con máquinas automatizadas que interpretan directamente estos archivos digitales (figura 1) reduciendo o eliminando completamente lo que en algún momento se llamó *mano de obra*. De momento, aún tiene que haber humanos de por medio, diseñando y calculando los objetos y las propias máquinas, así como supervisando y gestionando los procesos y la logística general.

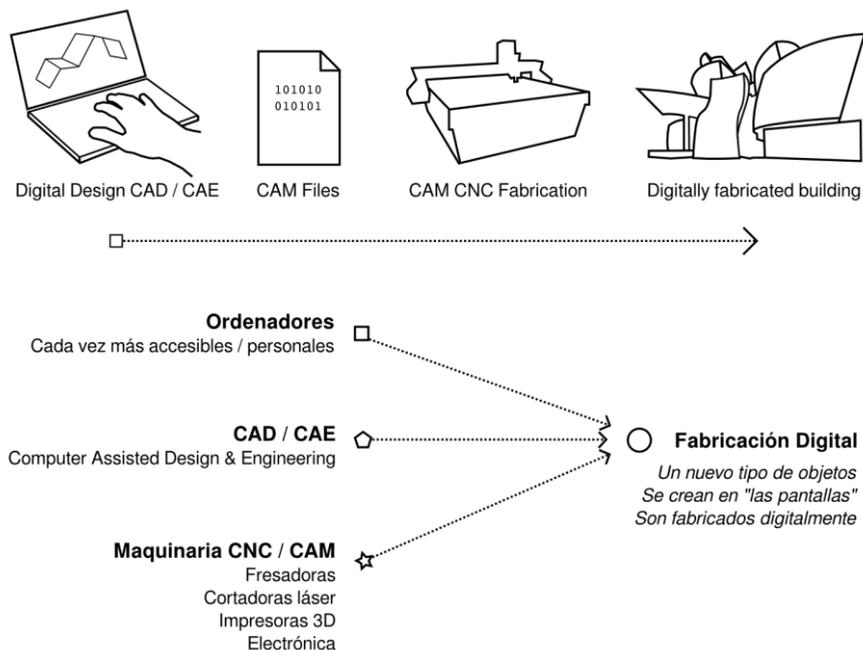


Figura 1: Diagrama proceso de fabricación digital y componentes tecnológicos que convergen para generar el nuevo campo. Pérez de Lama, 2012.

Este campo surge de la convergencia y composición de diferentes tecnologías, como son, las de la computación, el CAD/CAE, esto es el diseño y la ingeniería asistidos por ordenador, la electromecánica, esto es, el desarrollo de los equipos mecánicos susceptibles de comunicarse con los ordenadores y del software que lleva a cabo esa comunicación, y quizás posteriormente, el desarrollo de nuevos sistemas y materiales que expanden el rango de estos procesos – destacando actualmente en este ámbito lo relacionado con la llamada fabricación aditiva o más popularmente impresión 3D. Este proceso de

utilizados para describir la impresión 3D. Ver, por ejemplo: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/fourth-industrial-revolution>

convergencia hasta alcanzar un grado de desarrollo competitivo con las formas precedentes de la industria se produce desde los años 50, partiendo de aplicaciones en la industria aeroespacial. Y podríamos decir que cabalga sobre la llamada *Ley de Moore*, que según es interpretada actualmente (Gershenfeld, 2017), proponía que la capacidad de computación se duplicaría cada 18-24 meses, esto es que crecería, como así ha sido desde los años 60, exponencialmente. Más concretamente, la verificación de la hipótesis de Moore, supuso el significativo abaratamiento y el acceso generalizado a los medios de computación, de manera que los equipos que en los años 50-60 sólo eran accesibles sólo a las grandes empresas o gobiernos, hoy lo son a pequeñas empresas y organizaciones y, más en general, a gran parte de la población. Y entre estos equipos que se hacen cada vez más accesibles estarían las nuevas máquinas de fabricación digital, con los paquetes de software asociados.

Por aclarar algo más el asunto para las personas no especializadas: la idea de que los procesos de fabricación pasen a ser digitales quiere decir que las máquinas que se emplean no están diseñadas para hacer una misma tarea que se repite una y otra vez, como ocurría con las de las revoluciones industriales precedentes, sino que una misma máquina, por ejemplo una fresadora de control numérico, según las instrucciones digitales que reciba podrá hacer agujeros en determinadas posiciones, cortar diferentes perfiles de piezas en una chapa plana o tallar en tres dimensiones otras piezas diferentes. Ocurre como con los ordenadores que no hacen una única función, como podría ser sumar o resolver un único proceso de integración como hacían las primeras máquinas de cálculo a principios del siglo XX, sino que pueden hacer múltiples funciones según las instrucciones que les demos. El caso de las impresoras 3D, otra de las máquinas/tecnologías más destacadas, también ilustra bien esta novedad. Aunque existen diferentes variantes, el principio básico de la tecnología consiste en depositar material sobre una base, en capas²², para generar/fabricar cualquier objeto tridimensional –con ciertas restricciones según la variante tecnológica específica– que hayamos diseñado digitalmente, y que con la mediación de varias capas de software hayamos enviado desde un ordenador.

¿Cuáles serían entonces las principales innovaciones y ventajas de este tipo de procesos respecto de los precedentes? Si observamos sus primeras aplicaciones, en la construcción de alas y fuselajes de aviones, las ventajas están en primer lugar en la precisión y la mayor exactitud en la traslación de los dibujos de proyecto a los objetos fabricados así como con en la mayor facilidad en el proceso de trabajo. Igualmente, en otro campo, en la fabricación de elementos electrónicos altamente miniaturizados, como podrían ser microcontroladores y microprocesadores, la automatización permite una

²² Este principio de ir sumando capas o material en otras configuraciones es lo que hace que la familia tecnológica se denomine también *fabricación aditiva*. Véase por ejemplo, MALÉ-ALEMANY, 2015.

precisión que no sería viable manualmente. En segundo lugar, la sustitución de máquinas dedicadas a un proceso específico, - por ejemplo, construir una determinada placa electrónica o repetir en masa una misma pieza mecánica -, por máquinas de control numérico, permite usar la misma máquina para producir sucesivas evoluciones de un primer diseño y cualquier otro tipo de pieza en el futuro o incluso en momentos diferentes del mismo proceso de producción. El caso del edificio del museo Guggenheim de Bilbao, una de las primeras aplicaciones de las tecnologías de fabricación digital en Arquitectura, muestra bien estos potenciales: los mismos equipos pudieron ser usados para fabricar miles de piezas diferentes, de la estructura, de los revestimientos, de las instalaciones, con una exactitud que habría sido muchísimo más costosa si hubiera tenido que hacerse con medios tradicionales.

Desde el punto de vista de los nuevos modos de producción, la fabricación digital constituye un elemento fundamental de viabilización de la llamada producción flexible, así como de lo que autores como Castells denominaron plantas de producción global. Por un lado, la capacidad de fabricar diferentes cosas con una misma máquina permite introducir variabilidad en las líneas de producción, en contraste con la producción en masa precedente: para responder a las demandas rápidamente cambiantes del mercado, para incorporar variaciones de customización en un mismo producto, para reducir costes en los actuales procesos de innovación permanente.²³ Por el otro, la precisión y exactitud en la descripción digital de los objetos y sus procesos de producción facilitan la deslocalización en red de estos procesos, manteniendo las tareas de ingeniería en localizaciones centrales y ubicando las de fabricación en áreas estratégicamente ventajosas para la empresa. Finalmente, la automatización de la fabricación digital permite a las empresas un doble cambio en cuanto a su fuerza de trabajo y sus procesos de creación de valor: en un sentido la creación de valor se centra en el conocimiento, - ingeniería, control de procesos digitales, logística –algo a lo que algunos autores se han referido como capitalismo cognitivo–. Por otro lado se produce un cierto *deskilling* de la fuerza de trabajo, reduciendo la dependencia de las empresas respecto de los trabajadores altamente cualificados en la base de los procesos de producción, haciendo de esta manera intercambiable y contingente a los que antes se denominaba *obreros*. Desde un punto de vista abstracto, la automatización de los procesos de fabricación digital releva a los humanos de las tareas más arduas y repetitivas, algo que se viene señalando como una virtud y como un potencial de emancipación desde hace ya muchos años, invitando a imaginar escenarios de “fin del trabajo” y “post-

²³ Los brazos robóticos con diferentes manos o *end-effectors* + algoritmos son considerados hoy como la próxima frontera en cuanto a máquinas de fabricación flexible. Cabe reseñarse que en 2018 una de las tendencias emergentes del sector es la de los *co-bots*, los sistemas de robots colaborativos. Véase por ejemplo la web de *Universal Robots* uno de los fabricantes de moda para pequeñas industrias y centros docentes y de investigación universitarios.

escasez” (Keynes, Bookchin, etc.).²⁴ Sin embargo, como ya señaló Marx en el *Capital* y experimentaron los trabajadores en revoluciones tecnológicas sucesivas, el posible beneficio de estos avances tecnológicos no es algo contenido principalmente en la propia técnica sino una cuestión fundamentalmente de economía política, de relaciones de poder. Frente a los imaginarios emancipadores también encontramos las realidades del desempleo tecnológico y de polarización social entre los detentadores del conocimiento y los medios para aplicarlo y los que quedan al margen de los nuevos desarrollos.

4. FABRICACIÓN DIGITAL COMUNITARIA Y PERSONAL

Imaginen, hace cincuenta años, que alguien hubiera propuesto hacer un dispositivo que hiciera que un automóvil siguiese una línea blanca en el centro de la carretera, automáticamente, incluso si el conductor se quedara dormido... Se habrían reído de este alguien, y su idea habría sido llamada absurda. Pero imaginen que alguien propusiera hoy un dispositivo como éste, y estuviera dispuesto a pagarlo, dejando a un lado la cuestión de su utilidad genuina. Un amplio número de equipos estaría listo para contratarlo y construirlo. No haría falta propiamente ninguna invención. Hay miles de jóvenes en el país para los que el diseño de este dispositivo sería un placer. Simplemente elegirían de diferentes catálogos algunas células fotoeléctricas, tubos termo-iónicos, servomecanismos, relés y, en el caso de que efectivamente se les pidiera construirían lo que se llama un prototipo con un protoboard, y funcionaría. La cuestión es que la presencia de una multitud de gadgets versátiles, baratos y seguros, y la presencia de hombres que entienden completamente sus extraños funcionamientos ha convertido la construcción de dispositivos automáticos casi en una simple rutina. Ya no se trata de si se pueden construir sino más bien de si resulta de interés hacerlo. (Vannebar Bush, citado por M. Bookchin, 1965: 49-50).²⁵

Cuando la tecnología es barata y sencilla su uso se difunde. En lugar de tener economías de escala con máquinas centralizadas, las máquinas sencillas pueden ser más convenientes, robustas y a prueba de fallos. Y de esta manera, si las máquinas pueden hacerse lo suficientemente sencillas todo el mundo puede tener

²⁴ Existe una larga tradición de pensamiento sobre la posibilidad de las máquinas y los avances tecnológicos en general para aligerar o incluso reducir drásticamente el trabajo humano, que empezaría como mínimo en la Ilustración, continuaría con los socialismos utópicos y tendría un hito importante en el trabajo de Keynes, dada su importancia como uno de los principales y más influyentes economistas del siglo XX. Algunas elaboraciones explícitas sobre el tema pueden encontrarse en el *Derecho de la pereza*, el clásico de Paul LAFARGUE (1880), el yerno de Marx, en el propio KEYNES, *Posibilidades económicas de nuestros nietos* (1930) o, ya en los años 60-70, en las teorizaciones y experimentos de Murray BOOKCHIN (2004).

²⁵ Resulta de interés que Bookchin citara a Vannebar Bush, entonces director de la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo de los Estados Unidos, y uno de los responsables del diseño de la política tecno-científica de los EU tras la II Guerra Mundial (SAREVITZ, 2016; SONI & GOODMAN, 2018). V. Bush también es citado con frecuencia como uno de los precursores intelectuales de la WWW, con su texto *As We May Think* (1945).

*su propia fábrica. BCS Open Source Specialist Group @BCSOSSG,
Twitter 20/07/2018 citando a @adrianbonnyer (traducción del autor)*

Ante este panorama de lúgubres descrito en el apartado anterior, ¿cómo es que, aun así, existe un cierto entusiasmo por la fabricación digital entre sectores sociales que no participan de las instancias económicas hegemónicas? Coloquialmente se podría decir que “la esperanza es lo último que se pierde,” o incluso que “la Historia aún no ha acabado.” Más pragmática y concretamente podemos decir que la fabricación digital y la automatización en general siguen constituyendo un *filum* tecnológico todavía emergente, todavía existe un panorama relativamente diverso en el que la tendencia descrita previamente, siendo la dominante, aún deja espacio para otras formas de adoptar la tecnología. En 2014, y en relación con las aplicaciones de la fabricación digital en Arquitectura, proponíamos una cartografía que aún mantiene cierto interés para analizar este panorama más general del sector (figura 2).

F2F / File to Factory

Plantas globales
de producción
Castells, 1997

Modelo Apple



Jewel

Muy altos presupuestos,
productos elitistas,
gran singularidad,
permanente experimentación

Modelo Gehry / Hadid (en arquitectura)

**Microfactories
Cloud Fabrication**

Innovación distribuida,
capitalismo intensivo,
open source
Anderson, 2012

Modelo Google / Facebook



Fab labs

Commons Fabrication

Innovación distribuida,
capitalismo intensivo,
software/hardware libre
Gershenfeld, 2005

Modelo RepRap / Arduino

Figura 2: Cartografía de las principales tendencias de la fabricación digital en el ámbito de la arquitectura (Pérez de Lama, 2014).

En el área superior izquierda de esta cartografía aparecía lo que llamábamos *F2F*, *File to Factory*, una denominación hoy menos usada, que describe el escenario que podemos calificar de principal, el de las plantas de producción global de Castells. Apple, cuyo valor en bolsa ha superado en 2018 el valor del PIB español, podría ser un ejemplo de empresa en la que esta forma de trabajo supone un aspecto fundamental de su organización industrial. En el área inferior izquierda aparece una tendencia menor en volumen, pero relevante a la hora de producir imaginario y seducción en torno a estas tecnologías y de

mostrar el horizonte de posibilidades, a la que llamábamos, *jewel trend*, que consistiría en la producción de objetos extraordinarios y singulares. Estas producciones son con la mayor frecuencia costosísimas, como podría ser el caso del museo Guggenheim ya comentado en el ámbito de la Arquitectura, y el de otras muchas que podemos ver tanto en publicaciones altamente especializadas, como en las redes sociales o en revistas tipo *Vogue*. Este tipo de producto es el típicamente el resultado del trabajo tanto de diseñadores y arquitectos *estrella*, como de los centros universitarios y de investigación más avanzados y elitistas, tipo la ETH de Zurich, Harvard o ICD de Stuttgart, por citar algunos de los más conocidos - para el campo de la Arquitectura, de nuevo. En el área superior derecha estaría lo que denominábamos *cloud fabrication*, modelo promovido en su día por otro gurú digital como es Chris Anderson (2012), que planteaba estas tecnologías como una oportunidad para las micro y meso-empresas con alto nivel de innovación y capacidad de trabajo colaborativo en redes globales. Éste es quizás el modelo que viene seduciendo a administraciones públicas como la española construido en torno a los discursos de la innovación y el emprendimiento. Finalmente, en el área inferior derecha, planteábamos lo que llamábamos entonces *commons fabrication*, que promovería modelos productivos colaborativos, distribuidos y basados en el conocimiento abierto, próximos a los del software libre. Estas dos últimas tendencias, y especialmente la última, serían las que estimulan el entusiasmo por la fabricación digital desde los entornos que podríamos llamar colaborativos, que asociamos al universo de *makers* y *fab labs* que venimos mencionando.

4.1. ¿Qué son los fab labs?

¿Qué son entonces los fab labs? ¿Y qué es el movimiento de makers y fab labs? Empecemos por su historia, que necesariamente es breve en el contexto de la transformación acelerada de lo digital. Hacia el año 2000, Neil Gershenfeld, profesor de MIT en EEUU, propone a la NSF el proyecto de crear el *Center for Bits and Atoms* (CBA). Este centro se propuso centrar sus investigaciones en los procesos de fabricación digital, para lo cual adquirieron los principales equipos disponibles en el mercado, para a partir de éstos, hacer evolucionar la tecnología. Hacia 2002, considerando los compromisos de difusión vinculados a las subvenciones recibidas el CBA decide montar una versión muy simplificada de su laboratorio en un par de localizaciones, en una aldea rural de India y en un barrio de la *Inner City* de Boston –eufemismo para los barrios marginales y pobres del centro urbano en las ciudades estadounidenses–, para ver qué hacía la gente con aquellos nuevos equipos, ya no en entornos científicos o industriales sino en la vida cotidiana. La hipótesis que surge con aquella medida casi accidental, según explica su principal responsable, era la que avanzamos en la introducción: la fabricación digital se encontraba en un momento análogo al de los ordenadores en los años 70; podían hacerse equipos personales, o al menos comunitarios, pero aún no se sabía bien para qué se podrían utilizar que fuera realmente relevante. Recordemos que los primeros usos de los ordenadores

- *¿Quién puede usar un fab lab?*
Los fab labs están disponibles como un recurso comunitario, ofreciendo acceso abierto a las personas y acceso programado a grupos.
- *¿Cuáles son tus responsabilidades en un fab lab?*
Seguridad: no dañar a personas ni equipos.
Funcionamiento: ayudar en la limpieza, el mantenimiento y la mejora del laboratorio.
Conocimiento: contribuir a la documentación y a la instrucción.
- *¿Quién es el propietario de las invenciones que se hacen en un fab lab?*
Los diseños y procesos desarrollados en los fab labs pueden ser protegidos y vendidos como el inventor o inventora elija, pero deben quedar disponibles para que las personas puedan usarlos y aprender.
- *¿Cómo pueden lo/as emprendedores/as o negocios usar un fab lab?*
Las actividades comerciales pueden ser prototipadas e incubadas en un fab lab pero no deben entrar en conflicto con otros usos, deben crecer hacia afuera más que dentro del laboratorio, y se espera que beneficien a los inventores, los laboratorios y las redes que contribuyan a su éxito.

Aunque a los miembros de la comunidad fab lab la cosa pueda resultar evidente, muy probablemente para la mayoría que no conoce estos espacios la *charter* no habrá aclarado demasiado. Detallamos un poco más. Un fab lab es un laboratorio, o taller dirían algunos, en el que hay una serie de equipos relativamente estándar que son los siguientes (figura 4): (1) cortadora láser que permite cortar chapas planas de diferentes materiales para múltiples usos, entre otros construir objetos tridimensionales; (2) una fresadora de grandes dimensiones que permite cortar (fresar) tanto paneles, por ejemplo de madera contrachapada, como objetos tridimensionales. Con esta máquina se pueden construir muebles, pero también pequeñas estructuras arquitectónicas; (3) una fresadora de precisión de pequeñas dimensiones, que se utiliza habitualmente para fresar moldes de cera o placas electrónicas; (4) una o varias impresoras 3D, para imprimir objetos tridimensionales, normalmente en plástico (mejor si es biodegradable); (5) un escáner 3D para producir modelos digitales de objetos físicos (para luego reproducirlos, modificarlos...); y (6) equipos y herramientas para fabricar dispositivos electrónicos. Todos los fab labs de la red, comparten estos equipos, y los procesos para su utilización, lo que facilita y favorece la colaboración entre los laboratorios.

Sin embargo, como se suele subrayar, los fab labs son más que las máquinas; son lo que podríamos llamar comunidades que comparten una cierta visión y unas formas de hacer. Una visión caracterizada por cierta confianza en la capacidad emancipadora de las tecnologías, y que considera lo colaborativo, el

conocimiento abierto y el aprender-haciendo como prácticas fundamentales. Aunque no sea un término usado en la propia red, uno diría que la idea de *convivencialidad* propuesta por Iván Illich (1973) podría también describir el posicionamiento de buena parte de la comunidad fab lab respecto de la fabricación digital. Convivencialidad era una cualidad que Illich reivindicaba para la herramientas –en un sentido amplio del término–, que describiría aquellas herramientas que favorecen la autonomía de las personas y comunidades, por ser económicas, no generar dependencia con grandes empresas o burocracias, ser relativamente sencillas de usar y fáciles de reparar, susceptibles de ser modificadas y mejoradas, etc.²⁷

La red fab lab se organiza además mediante diversos dispositivos también de interés. El primero es la Fab Academy, un curso global-distribuido por medio del cual los participantes en la red aprenden las habilidades y protocolos compartidos que facilitan la colaboración entre todos los nodos de la red: que lo que se hace en un lugar pueda ser reproducido en cualquier otro punto de la red o que se puedan plantear con naturalidad el desarrollo de proyectos distribuidos. Desde hace unos años, la academy sha incorporado algunos cursos más especializados, en concreto, uno dedicado al bio-hacking y otro al trabajo con textiles y *wearables*. El segundo dispositivo es la celebración de un encuentro anual de todos los nodos de la red, que se llama FabX –siendo X el número del encuentro–, en el que se comparten los avances del año pasado y las perspectivas y planes para el siguiente. En 2018, *Fab14* tuvo lugar entre París y Toulouse. *Fab15* tendrá lugar en 2019 en Cairo, Egipto. Otros dispositivos son la Fab Foundation – encargada de la coordinación general desde que la red adquirió una complejidad elevada, así como diversas plataformas dedicadas a actividades específicas como la educación o la financiación.

²⁷ Curiosamente, algunos de los pioneros de la computación personal, señaladamente Lee Felsenstein, tenían en mente a Iván Illich cuando se producían los primeros debates y ordenadores personales en California en la misma década de 1970 (LEVY, 1984).



Figura 4: Equipos que constituyen el inventario básico de todos los fab labs de la red. Fuente: Fab Central, Gershenfeld, 2014

Pero sigamos contestando a las preguntas frecuentes. ¿Qué puede hacerse realmente en un fab lab? ¿Se puede hacer *casi cualquier cosa* como dice uno de sus eslóganes más repetidos? Pues efectivamente, en un fab lab se puede hacer cualquier cosa, aunque con ciertas condiciones, y se han hecho desde casas a coches, pasando por todo tipo de artefactos electrónicos. Aunque con la salvedad de que no necesariamente serán más baratas las cosas hechas en un fab lab que si, por ejemplo, se comprasen en Ikea, o de que no estarán mejor acabadas que si hubieran sido hechas por un carpintero clásico, en el caso de un mueble, o por los proveedores de Apple, por poner otro ejemplo, en el caso de un dispositivo electrónico. Otra cuestión sería cuando se trate no ya de hacer una silla o una biblioteca o un dispositivo interactivo, sino cuando se necesitare hacer 1.000 unidades. En ese caso, el fab lab también respondería con dificultad y no será competitivo frente a métodos más tradicionales, pues no está diseñado para la producción en serie.

Y aun así, ¿cómo es posible que en un pequeño taller pueda hacerse *casi cualquier cosa*? Habría que atribuirlo a dos razones principales. La primera, sería la innovación y el abaratamiento de los propios equipos de fabricación digital y la sabia selección del inventario que permite trabajar a diferentes escalas y con diferentes materiales (el metal siendo aún una excepción), incluyendo la fabricación de dispositivos electrónicos (a partir de los componentes miniaturizados que no se fabrican en los fab labs sino que se adquieren como “materias primas” igual que los paneles de madera o el filamento de PLA para impresión 3D). La segunda razón sería la sugerida por Bush/Bookchin en la cita introductoria a este apartado del texto: el conocimiento para producir todo tipo de cosas se ha extendido, aún más que en la época de Bookchin, especialmente a través de las comunidades que lo comparten en Internet, y de las que la red fab lab sería una pequeña sub-comunidad. De esta manera, alguien que quiere hacerse, por ejemplo, una silla, puede mirar en Internet múltiples ideas explicando cómo hacerlo, incluso, en lo que se llama repositorios, puede encontrar diseños listos para descargar, quizás modificar, y fabricar. Y así, si uno mismo forma parte de estas comunidades y diseña y fabrica un producto que estima que otros podrían querer fabricar pues lo sube también, y de esta manera se viene generando desde hace más de una década una inmensa biblioteca distribuida, en la que unos y otros enseñan y aprenden, y comparten sus producciones, de una forma que podemos comparar con como funcionan el software libre o Wikipedia.²⁸



Figura 5: Filson & Rohrbacher, AtFab project, ca. 2010, sillón LNG; ejemplo de mobiliario de código abierto para ser fabricado en un fab lab con fresadora CNC e impresora 3D (embellecedores de color). Fuente: <http://atfab.co/>

²⁸ Algunos de los repositorios más destacados, para que los lectores no familiarizados con el tema, puedan hacerse una idea serían thingiverse.com o instructables.com. El propio sitio de la Fab Academy funciona también como un repositorio algo más especializado, en el que se enfatizan dificultades y procesos de prueba y error. Otro interesante repositorio, éste con múltiples piezas artísticas escaneadas para poder descargar, es myminfactory.com. Wikihouse.cc es un proyecto abierto con soluciones constructivas para la construcción de una casa, mientras que atfab.co ofrece una colección de muebles en acceso abierto, ambas plataformas pensadas para la fabricación con los medios de un fab lab.

4.2. ¿Por qué alguien querría hacerse fabber o maker?

*Life wastes itself while we are preparing to live.*²⁹ Ralph Waldo Emerson

Entonces, si decimos que actualmente es más barato, - y lógicamente más cómodo -, comprar un mueble en Ikea que hacérselo uno mismo en el fab lab, ¿cuál es el interés del asunto? ¿Y por qué hay gente que prefiere hacer este tipo de cosas en un fab lab en vez de comprarlas ya hechas y más baratas? Lógicamente, cada uno de los *fabbers* o *makers* tendrá sus razones, pero podemos señalar algunas de las más destacadas y comunes, aunque en cada caso particular se tratará probablemente de una trama compleja de intereses diferentes. Ocurriendo, incluso, que los diferentes intereses de unos y otros no estén necesariamente alineados.

El placer de hacer

Una de las principales razones sería la del gusto o el placer de hacer, de hacer cosas materiales, - algo que Richard Sennet, por ejemplo, estudia en su libro *The Craftsman* (2008). En un mundo en el que el trabajo es cada vez más abstracto y nuestra relación con lo material cada vez más artificiosa la posibilidad de hacer cosas por uno mismo, cosas concretas y físicas, de aprender a hacerlas cada vez mejor, es algo que para muchas personas constituye una fuente de placer. Este es un sentimiento que no será extraño a artistas y artesanos, arquitectos, ingenieros, *hackers*, *bricoleurs*, etc.

La autonomía

Relacionado con lo anterior, esta posibilidad de hacer por nosotros mismos, el *DIY* (*Do It Yourself*) de las décadas de 1960-70, o con otros, el cada vez más famoso *DIWO* (*Do It With Others*) nos otorga un mayor sentido de autonomía y autosuficiencia, que contrastan con la sensación de dependencia de los sistemas globales que nos resulta difícil comprender y que en ocasiones parecen ir en detrimento de una buena vida. Dado que el mundo maker y fab lab no es uno de personas apartadas del mundo en una aldea remota sino de comunidades que comparten conocimientos y visiones a escala global, esta cuestión suele enunciarse como un proyecto de *autosuficiencia conectada*. Esta cuestión está estrechamente relacionada con la idea de convivencialidad que introducíamos anteriormente.

La sostenibilidad y la economía local

Para algunos, esta autosuficiencia tiene también que ver, y constituye un aspecto relevante para su trabajo en los *fab labs*, con la sostenibilidad. Producir en los fab labs, supone reducir el consumo energético derivado del transporte, característico de los sistemas globales de producción, así como de alimentar la economía local. Fabricarte tus propias máquinas, como veremos más adelante,

²⁹ *La vida se echa a perder mientras nos preparamos para vivir.*

también supone un elemento de sostenibilidad local. Dentro de este marco estarían las actividades de reparación, reutilización y reciclaje, propias del mundo *hacker*, que plantean alternativas a las prácticas corporativas de la obsolescencia programada. Los planteamientos de economía circular o incluso próximos a la permacultura constituyen un tema común entre muchos de los fab labs. Conviene señalar, no obstante, que aunque ésta sea una razón de importancia para muchos de los *fabbers*, aún queda mucho por hacer en cuanto a los materiales generalmente usados en los procesos de fabricación digital comunitaria y personal, que en buena medida siguen siendo cuestionables tanto desde un punto de vista ecológico como por su dependencia de las cadenas globales de producción.

La necesidad de expresarse y la emoción de la invención

Volviendo a la cuestión del *craftsmanship* y la agencia en la construcción del propio mundo, otro elemento atractivo para muchos del trabajo en los fab labs es la posibilidad de expresarse y desarrollar la creatividad. No sólo es relevante el placer de hacer cosas por uno mismo o en colaboración con otros, sino que también está el placer de expresarse e incluso de inventar. La cuestión de la expresión tendría que ver con la creación de objetos singulares, lo que inicialmente Gershenfeld llamaba la fabricación personalizada, ya sean diseños propios, o personalizaciones, *moddings* o bricolajes varios. El tema de la invención también es relevante: muchas de las personas que llegan a los fab labs, jóvenes o mayores, son inventores o proto-inventores que allí encuentran los medios materiales y el medio humano para poder desarrollar sus inventos. Esto estaría relacionado con la cuestión del prototipado, otra de las prácticas características de los fab labs: tener a disposición los recursos necesarios permite tanto realizar múltiples iteraciones de un diseño de partida, hasta alcanzar una solución adecuada como producir piezas funcionales que sirvan como *proof-of-concept* y que ulteriormente pueden continuar siendo desarrolladas en marcos más profesionales o industriales. En las figuras 6 y 7 se muestran ejemplos de fabricación personalizada y comunitaria realizados en el entorno del Fab Lab Sevilla.



Figura 6: J. Pérez de Lama, 2018, marco paramétrico inspirado con sistemas de mocárabes impresión en 3D.

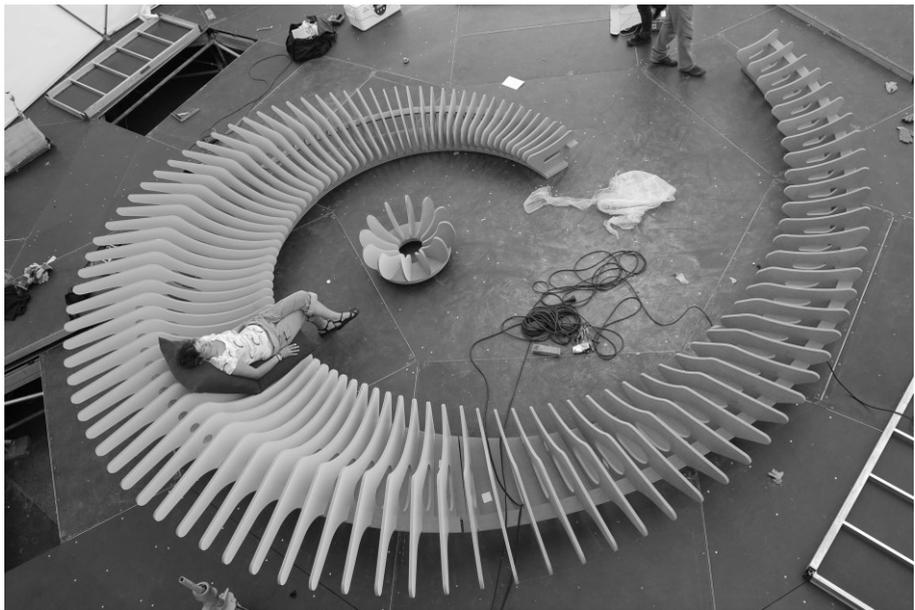


Figura 7: Belén Barrigón, Borja Baños & Carlos Bauzá con hackitectura.net, sillón *Mille Plateaux* montado en el espacio público temporal WikiPlaza, plaza de la Bastilla, París, Festival Futer en Seine, 2009, diseño digital paramétrico y fresado CNC.

La innovación orientada a las empresas

Casi como una de las derivaciones principales de lo anterior, muchos *fabbers* o *makers* están interesados en el uso de este tipo de equipamientos como plataforma para el desarrollo de productos innovadores, en el sentido más de moda del término, que les sirvan como palanca para introducirse en el mundo del emprendimiento o dar el salto a una gran empresa del sector, ya sea en el entorno más o menos colaborativo, ya en el convencionalmente capitalista. Esta última variante supone una situación ambigua para los defensores del conocimiento libre y las prácticas colaborativas, aunque dada la precariedad del sector resulta comprensible que sea una situación más que frecuente.

Ganarse la vida. Generación de ecosistemas colaborativos

Por otra parte, es evidente que uno de los objetivos de la comunidad *fab lab* es generar una economía sostenible que sea extensión y complemento de la actividad que se desarrolla en los laboratorios. En este sentido muchos *fabbers* crean o participan en proyectos de carácter empresarial que de una u otra manera extienden los principios de colaboración y apertura. Uno de los efectos más destacados de lo que podríamos llamar la *década maker* ha sido efectivamente la creación de ecosistemas productivos y de consumo en torno a las actividades cultivadas en los *fab labs*: empresas que desarrollan o fabrican máquinas, componentes o fungibles, servicios comerciales a particulares o a empresas, servicios educativos o comunitarios, creación de plataformas de servicios relacionados, consultoría técnica en la materia a empresas como puedan ser estudios de Arquitectura, diseño y fabricación personalizada, producción cultural y artística, desarrollo de productos, etc. - ya sea como actividad principal, o como actividad complementaria que enriquece la oferta y añade valor en diversos tipos de actividad.³⁰

Apoyo a la investigación

En laboratorios como el *Fab Lab Sevilla*, que forma parte de la universidad, y más en particular de la Escuela de Arquitectura, muchos de los usuarios son investigadores a quienes los medios y la experiencia del taller les facilita la fabricación rápida y económica de elementos que necesitan en sus

³⁰ Algunos ejemplos destacados de este tipo de iniciativa serían, entre otros y por mencionar sólo algunos de los más destacados, incluyendo algunos españoles, pueden ser, *Arduino*, *RaspberryPi*, *Alhambra Bits* y *Echidna*, entre los fabricantes de placas electrónicas; los fabricantes de impresoras, *Ultimaker* (surgido del *Fab Lab Utrecht*), *Prusa*, *BCN3D* y *Leon3D*; la plataforma *SmartCitizen* (que promueve una red de sensores ambientales, surgida del *Fab Lab Barcelona*); o las empresas de componentes y dispositivos para entornos *maker*, *AdaFruit*, *E3D* y *Libelium*. También son proyectos empresariales del sector las plataformas digitales de servicios de impresión 3D, entre las que destacan *Shapeways* y *Materialise*, vinculada esta última en su origen a la Universidad de Lovaina y su *fab lab*. La cartografía y cuantificación de este sector económico-productivo es una investigación que está aún pendiente de ser realizada.

trabajos, y que antes resultaban mucho más costosos, además de burocráticamente difíciles de adquirir. Un inventario rápido de cosas recientemente realizadas en Sevilla incluiría probetas para ensayo de materiales, artefactos para medir la deformación de estructuras arquitectónicas, dispositivos con sensores térmicos para estudios bioclimáticos, maquetas para el estudio de edificios históricos o para el apoyo a la participación ciudadana en proyectos patrimoniales y planes urbanísticos (véanse la figuras 8 y 9) y prototipos de estructuras plegables y complejas (figura 10).

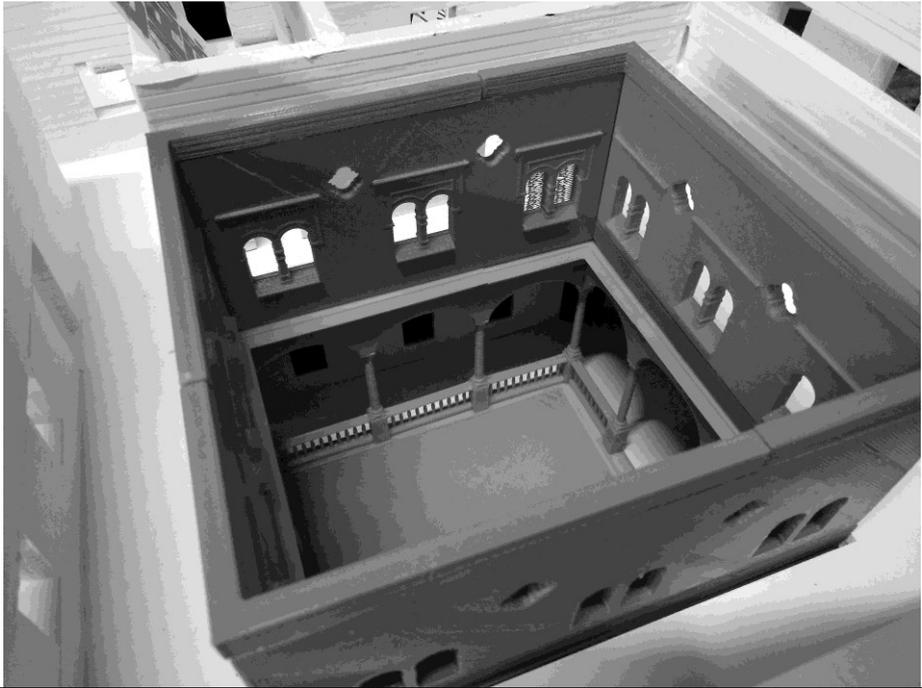


Figura 8: Centro Vecinal Pumarejo & equipo Fab Lab Sevilla; coordinación María Barrero Rescalvo, 2018, maqueta de apoyo a proceso participativo para intervención patrimonial; corte láser e impresión 3D.



Figura 9: Equipo Fab Lab Sevilla con Pablo Rabasco & Martín Domínguez Ruz, 2017, maqueta del proyecto de edificio de Martín Domínguez y equipo en La Habana, Cuba realizada para la exposición “Arniches y Domínguez. La Arquitectura y la vida,” Fundación ICO, Madrid; impresión 3D, aproximadamente 120 piezas, y corte láser (base). Fotografía de César González.

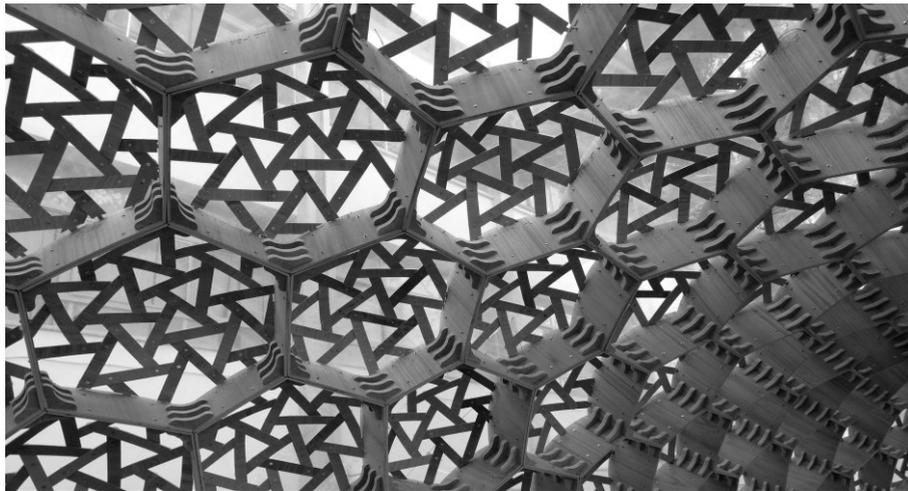


Figura 10: Roberto Narváez, María Aguilar, Margarita Infante y equipo ETSIE, 2018, pabellón efímero en el patio de las escuelas de Arquitectura y Edificación de la Universidad de Sevilla, diseño digital paramétrico y fresado CNC.

Otros espacios y formas de aprendizaje

Otra cuestión que caracteriza a las personas que se acercan a los fab labs es el interés por aprender en espacios y de maneras diferentes de las habituales. Efectivamente, muchas de las personas que llegan a los fab labs lo hacen

buscando la manera de aprender cosas que aún no se aprenden en espacios convencionales, como pueda ser la impresión 3D, pero sobre todo lo hacen buscando aprenderlas de una forma diferente a las de la enseñanza reglada. En nuestra experiencia, no son raros los casos de personas que no han sido capaces de adaptarse a la formación reglada y que sin embargo en el fab lab acaban siendo brillantes. Por un lado se trata de un aprender-haciendo, diferente al de las escuelas y universidades habituales, donde se suele empezar por la teoría y la práctica ocupa normalmente un papel complementario o muy reducido.³¹ En los fab labs habitualmente no hay clases teóricas sino que si alguien quiere hacer algo, pregunta por alguna persona que sepa como hacerlo, busca en Internet, se pone a hacer pruebas y *debugging*³²... También se trata habitualmente de un aprender dirigido por el propio interesado quien, por ejemplo, necesita arreglar algo que se le ha estropeado, o hacer un escaneado que ha oído por ahí que se hace en los fab labs y no sabe bien como hacerlo, etc. Se trata de un aprendizaje entre pares; aunque haya algunos que sepan más y otros menos; los fab labs se caracterizan porque todo el mundo está aprendiendo y enseñando a la vez; alguien puede llegar nuevo sin saber nada, pero pronto estará enseñando de forma natural a otro que llegará un poco más tarde; esto resulta, además, en que los procesos de trabajo, con la mayor frecuencia, se llevan a cabo colaborativamente. La colaboración sucede también porque en los fab labs, típicamente, se encontrarán personas de muy diferente formación dispuestas a intercambiar sus conocimientos. El precedente mítico de este tipo de espacios es, cómo no, el Medialab de MIT fundando en la década en 1980, pero en nuestro estado existe otro más reciente que son los *hacklabs*, de gran importancia en el entorno de los movimientos sociales alrededor del final de siglo.

Cultivar otro tipo de subjetividades

Aunque hayamos dicho que las jerarquías docente-discente son muy relativas en los fab labs, desde el punto de vista de sus responsables –técnicos, *managers*, directores...– y probablemente del de muchos de los *fabbers*, un importante aliciente es el de cultivar la producción de un tipo de subjetividad diferente de la convencional. Aunque ésta sea siempre una cuestión delicada, podría aventurarse que muchas de las personas que trabajan o forman parte de la comunidad fab lab, tienden a ser personas con una relación crítica y *convivencial*

³¹ Estas prácticas, especialmente las del aprender haciendo con ordenadores, programación y equipos electrónicos, son herederas, entre otros, de los trabajos de Seymour Papert, antecedente directo del CBA en MIT. Puede verse un resumen sobre los planteamientos papertianos en ACKERMANN, 2018. Para una exposición más extensa véase al propio PAPERT: *Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas* (1990).

³² En contraste con las prácticas educativas más tradicionales simbolizadas por el examen, el *debugging*, el proceso de análisis y corrección de errores, característico de la producción manual de placas electrónicas, es un referente del aprender-haciendo según lo describe Papert. Acepta, por un lado, que lo normal no es que algo salga bien la primera vez que lo hacemos, y que por lo tanto no hay que tener miedo a equivocarse. Por otro, constituye en sí mismo un modelo de cómo adquirimos el conocimiento y las habilidades, mediante procesos de prueba y error.

con las tecnologías, y por tanto con uno de los principales aspectos de la cultura contemporánea, que aspiran a un mayor grado de autonomía personal a la hora de resolver de manera práctica problemas técnicos, que están predispuestos a colaborar y compartir el conocimiento...

Comprender mejor el mundo actual

Cuando alguien que no es un especialista en la materia hace por primera vez una placa electrónica, aunque sea para encender un LED, —la estudia, la fresa, suelda los componentes, hace el habitual *debugging*, le carga el código...—, siente una satisfacción difícil de explicar. Siente, por lo menos la gente que conozco, que ese mundo del código, los algoritmos y el hardware que puede parecer mágico a los legos y que si embargo inunda nuestras vidas y que cada vez las controla más, es algo que se puede entender y en cuya producción puede uno participar convirtiéndose en un elemento más de nuestras vidas cotidianas. La sensación de que vivimos en un mundo cada vez más complejo, que se escapa de nuestro control, se modula notablemente, transformando a los fabbers de espectadores resignados y superados por los avances que nos llegan de la *nube* en potenciales sujetos activos y productivos de las nuevas realidades emergentes.

Participar en la vanguardia del cambio tecnológico

Una expresión recurrente, atribuida al autor de ciencia ficción William Gibson, “El futuro ya está aquí, pero está distribuido de manera desigual.” Otro atractivo para mucho de los que participan en las comunidades maker, y quizás más especialmente en los fab labs, es efectivamente la de participar del futuro, de su construcción. Más o menos todo el mundo sabe que la impresión 3D y la fabricación digital supondrá importantes cambios, pero resulta mucho más interesante participar, aunque sea en una modesta medida en la construcción de estos cambios que asistir como espectador, ya sea curioso, ya impotente. Profundizaremos un poco más en esta cuestión en breve cuando tratemos el mapa de ruta de la Fab Lab Network.

Formar parte de una comunidad, de un movimiento

Este sentirse como persona activa en la interpretación crítica y la construcción del mundo contemporáneo, se produce además, no como individuos aislados, sino como parte de una comunidad de afines, una comunidad local, la de cada fab lab o grupo de makers, y una comunidad global, la red fab lab y el movimiento maker. Frente al aislamiento y la separación tan frecuentes hoy, los fab labs y las redes asociadas, son puntos de encuentro, no ya de avatares más o menos virtuales como los que coinciden en las redes sociales, sino también de cuerpos que hacen cosas, se equivocan, se ayudan unos a otros, comparten ideas, conocimientos, proyectos y recursos. Unas comunidades que a la vez forman parte de un movimiento, y con esto una cierta dirección, visiones más o menos compartidas, un posicionamiento activo en la sociedad, etc.

Cambiar o mejorar el mundo

Finalmente, en una mezcla de casi todas las cuestiones anteriores, muchos de los y las fabbers participan del movimiento porque piensan que están contribuyendo a cambiar el mundo, no ya sólo por lo que esperan que vayan a traer las nuevas tecnologías de una manera abstracta, sino por hacerlo compartiendo, de forma colaborativa, desarrollando herramientas y procesos que nos den mayor autonomía (conectada) y puedan dar lugar a una mayor democracia económica, un sistema productivo más sostenible, una vida más rica y creativa, etc. Esta manera de cambiar-producir otros mundos me gusta describirla, de manera algo más intelectual, como un trabajo de producción biopolítica, que podría desglosarse en la producción de otras subjetividades, la creación de otras relaciones sociales y la generación de otros entornos socio-técnicos.³³

4.3. Mapa de Ruta (tecnológico) de la red fab lab

Una de las diferencias de la red y el movimiento *fab lab* respecto de otras manifestaciones similares es la visión de futuro compartida; una visión que, al menos en principio, propone una hipótesis centrada en los planteamientos colaborativos, y que pretende orientar a grandes rasgos la dirección de los trabajos de la comunidad en su conjunto. Esta visión viene siendo elaborada principalmente por Neil Gershenfeld. Su primera versión data de 2005, publicada en su libro *Fab. The Coming Revolution on Your Desktop. Entre 2006 y 2013*, en su papel de líder de la comunidad, Gershenfeld daba una conferencia en la reunión anual de los fab labs titulada *El estado de la red (The State of the Network)*, en la que comentaba y evaluaba los avances y posibles matizaciones sobre el mapa de ruta. En 2017, Gershenfeld publicó una versión revisada del mapa de ruta en un nuevo libro que venimos citando, titulado *Designing Reality. How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution*, escrito en colaboración con sus hermanos Alan y Joel (Cutcher-Gershenfeld). Tomaremos como base este último documento para introducirla.

Cabe destacar de esta última versión del mapa de ruta una mayor definición de su marco temporal y una aproximación a la cuantificación de la red mucho más precisa que en las primeras versiones. Ésta cuantificación se basa en la analogía con la llamada *Ley de Moore*, enunciada en las décadas de 1960-70, que proponía según la interpretación de Gershenfeld que la capacidad de computación y comunicación se duplicaría cada 18 meses. La verificación de esta ley durante los últimos 45 años es la que ha determinado el extraordinario desarrollo de las tecnologías de la computación y las comunicaciones que todos conocemos. Cabe señalar, como subrayan los hermanos Gershenfeld, que se trataba no tanto de una “ley natural” como de un mapa de ruta, que fue asumido

³³ Sobre esta aproximación *biopolítica* puede verse, entre otros, GUATTARI, 2000, *Las tres ecologías*.

fundamentalmente por Intel, una de las principales empresas fabricantes de procesadores, que contó entre sus fundadores precisamente con Gordon Moore a quien se debe la observación de lo que luego se interpretaría como *ley*. Que la capacidad de algo se duplique periódicamente significa que su crecimiento es exponencial.

La previsión de Gershenfeld, dado que la fabricación digital se basa en los mismos principios de la computación y la comunicación, es que ésta también crecerá exponencialmente. La observación que lleva a esta conclusión es que desde la creación del primer fab lab, su número, como ocurrió con los primeros procesadores, también se ha duplicado cada 12-18 meses. A la extensión de la ley de Moore a los fab labs Gershenfeld la llama la *Ley de Lass* (por Sherry Lassiter, la persona encargada de la gestión de la red en los primeros años, hoy presidenta de la Fab Foundation, que fue la primera en observar cómo el número de fab labs se duplicaba cada año, aproximadamente).

La cuestión del crecimiento exponencial de las tecnologías digitales plantea la problemática de que los cambios en los humanos y sus instituciones suelen materializarse según otros patrones de crecimiento, bien lineales, bien escalonados. Algo parecido ocurre con la disponibilidad de recursos naturales. Estos desfases entre ritmos de crecimiento hacen que sea de especial relevancia, argumentan los autores, tratar de anticipar durante las fases iniciales, cuando la hipotética curva de crecimiento está todavía próxima a la horizontal, las consecuencias y riesgos acelerados que se producirán y habrá que abordar en el futuro.

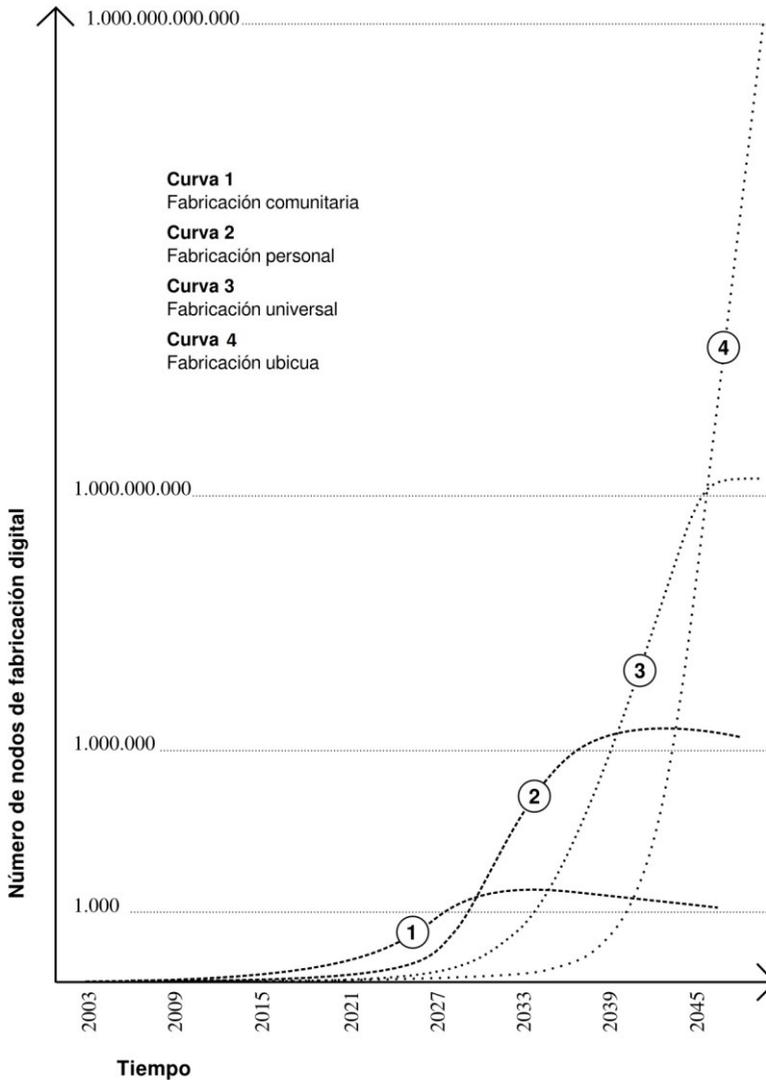


Figura 11: Cuadro crecimiento y fases del mapa de ruta de la fabricación digital según la red Fab Lab, Joel Cutcher-Gershenfeld, 2017: 219. Redibujado para el presente texto.

4.3.1. Primera fase: fabricación comunitaria

Según el mapa de ruta, este proceso de crecimiento se estructurará en cuatro fases, que son las siguientes (figura 11). La primera fase está llegando a su conclusión. Consistió en la creación de los fab labs, según se han descrito, que permiten fabricar *casi cualquier cosa*. En la actualidad existen unos 1.000 (10^3) fab labs, un número que es equivalente al número de las grandes ciudades del planeta. Gershenfeld llama a esta primera fase *fabricación comunitaria*.

4.3.2. Segunda fase: fabricación personal

En la segunda fase se pasará a 10^6 , 1.000.000, unidades, pero éstas ya no serán exactamente fab labs, sino que como ocurrió con la computación y la comunicación, serán unidades cualitativamente diferentes, que tendrán sin embargo la misma capacidad de *hacer casi cualquier cosa* que los fab labs precedentes. En el caso de la computación este fue el paso de los *mini-computers* de los 60-70, que aún ocupaban una habitación y estaban compuestos de elementos diferentes (CPU, unidad de memoria, interfaces...), a los ordenadores personales. Actualmente estaríamos en el inicio de esta segunda fase, que por analogía con la computación Gershenfeld llama *fabricación personal*. 1.000.000 es el número aproximado de gobiernos locales (distritos) del planeta, y nos da una idea de que al menos existiría esta capacidad de fabricar en todos los distritos del planeta, aunque sea más bien personal que comunitaria la forma en que la describe. Es relevante comentar el cambio cualitativo que prevé Gershenfeld, ya que ésta es la actividad principal en la que se centra estratégicamente la red en la actualidad. Lo que caracteriza esta fase desde este punto de vista son las *máquinas que hacen máquinas*, esto es, la posibilidad de usar los equipos en evolución de los fab labs, no ya para hacer objetos para ser usados, sino para hacer otras máquinas; es decir, cuando se consolide esta fase un fab lab tendrá la capacidad de hacer otro fab lab. Este aspecto, cuando históricamente se había pensando que la propiedad de los medios de producción era una cuestión clave para una sociedad más igualitaria, constituye una cuestión de gran interés. Lo cierto es que estas prácticas son ya bastante habituales, y todas o casi todas las máquinas que componen un fab lab de la fase 1, pueden ya ser construidas en los propios labs. Nosotros mismos, en el Fab Lab Sevilla, tenemos una línea de producción colaborativa de impresoras 3D, diseñadas por un miembro del equipo, Miguel Ángel Navarro, que son perfectamente eficientes. Uno de los autores de este texto tiene una a su espalda, en su estudio, fabricada por él mismo, que está imprimiendo cosas mientras revisa el presente escrito (figuras 12, 13 & 14). Sin embargo, no todas las máquinas son igual de sencillas de fabricar, y el proceso sigue siendo laborioso y relativamente caro, – por ejemplo, comparado con el precio de un teléfono móvil de gama media. La línea en la que vienen trabajando el equipo de Gershenfeld en MIT y otros miembros de la red es la de la modularización de los sistemas, parecida a la de los componentes electrónicos, los PCs y el software orientado a objetos, que permitiría, por un lado, construir máquinas mucho más versátiles, – una sola máquina podría hacer todas las funciones que hacen hoy las múltiples máquinas que componen un fab lab –, y por otra, mucho más económicas y fáciles de montar y usar. Esta fase, según la estimación actual se extendería durante los próximos 15 años.



Figura 12: Taller de fabricación colaborativa de impresoras 3D en el Fab Lab Sevilla, coordinación Miguel Ángel López Navarro, 2016.

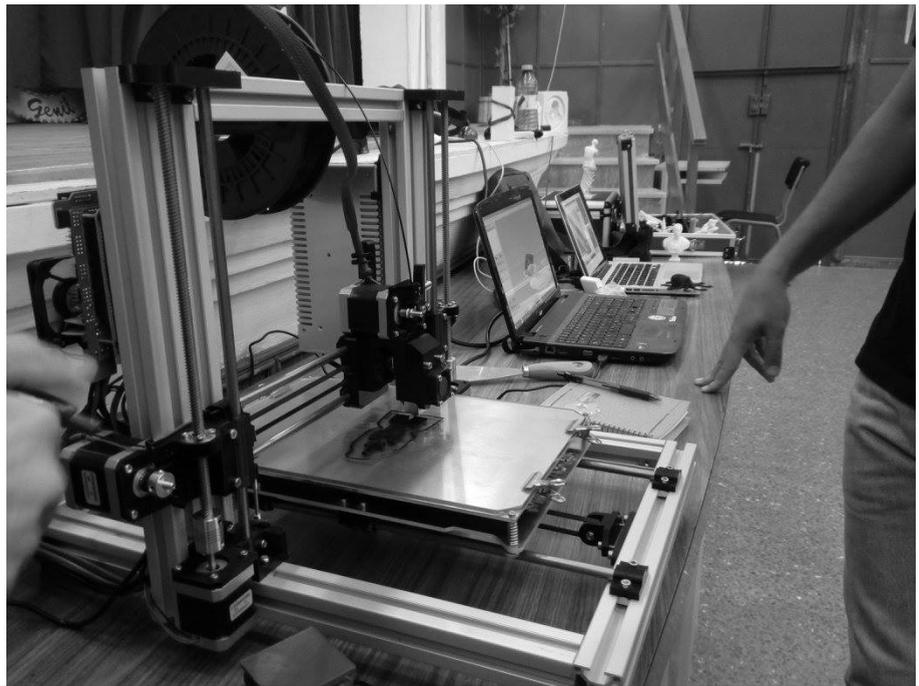


Figura 13: Impresora 3D p-minifab diseño de Miguel Ángel López Navarro en colaboración con Fab Lab Sevilla, 2016. Fotografía: Miguel A. López Navarro.



Figura 14: Equipo Fab Lab Sevilla (Cristina Peñas, Jose M. Sánchez-Laulhé, J. Pérez de Lama, Miguel A. López Navarro, Juan C. Pérez Juidías), 2016, prototipo de “fábrica autónoma” impresora 3D fabricada *in situ* funcionando con instalación de paneles solares fotovoltaicos (Xunzel). Prueba de concepto en el patio de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sevilla.

4.3.3. Tercera y cuarta fases: fabricación universal y ubicua

Las siguientes fases, tres y cuatro, son algo más abstractas, aunque especialmente la tercera, se encuentra avanzada en cuanto a las bases científicas para su desarrollo. Gershenfeld denomina la tercera fase *fabricación universal*, y estima que supondría el crecimiento hasta 10^9 , 1.000.000.000, mil millones de *unidades fabricadoras*. Esta cantidad es del orden de la población mundial, y del orden del número de terminales de teléfono móvil actualmente existentes en el

planeta.³⁴ La imagen de los *smartphones* nos ofrece una idea de la difusión estimada de las tecnologías y las capacidades de fabricación. De nuevo, el paso a esta fase supondrá un cambio cualitativo importante. Gershenfeld lo visualiza con la analogía de Lego –el juego de construcción infantil–, que a su vez compara con los bloques de construcción de la vida, los aminoácidos que componen el ARN y el ADN (2017: 173-178). En su visión, difícil de resumir en estas líneas, imagina componentes muy pequeños que se montarían como si fueran minúsculas piezas de Lego para constituir cualquier tipo de objeto, con la particularidad de que estos mini-legos estarían hechos de una decena de materiales con diferentes propiedades físicas –conductores, aislantes, semiconductores, etc...–, que permitirían construir circuitos electrónicos (figura 15). Una manera de visualizar cómo sería este tipo de objetos es la de las imágenes digitales compuestas de píxeles, a estos “píxeles” tridimensionales y físicos que compondrían los objetos así fabricados se los denomina *voxels* o *vóxeles*.

³⁴ La población global estimada en 2018 es de más 7.600 millones habitantes (<http://www.worldometers.info/world-population/>); el número de terminales de móviles existentes en 2018 se estima en 4.570 millones (<https://www.statista.com/>).

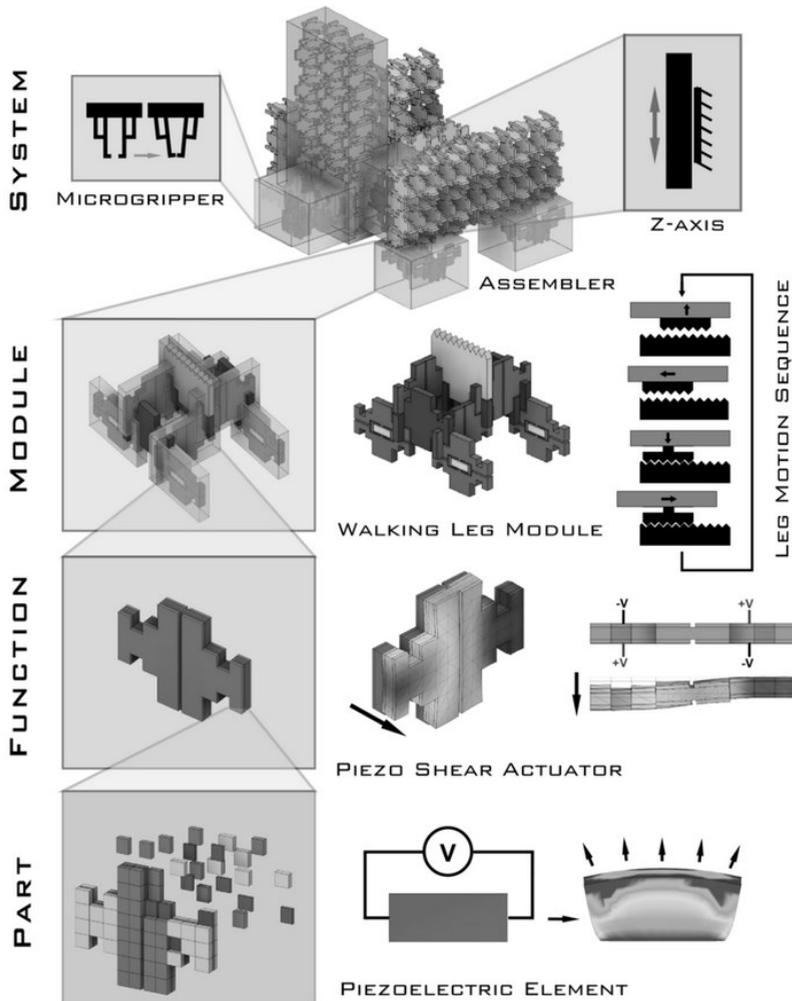


Figura 15: Neil Gershenfeld y colaboradores, 2016, diagrama conceptual del proceso de fabricación con micro-componentes funcionales para fabricar piezas y micro-máquinas.

Fuente: <http://ng.cba.mit.edu/show/script/17.09.fab.show.html>

Gershenfeld reelabora el significado de lo digital para conceptualizar esta nueva fase (2017: 106). Para él lo digital se definiría por cuatro características: 1) fiabilidad (*reliability*), por estar dotado de un sistema de corrección de errores, como cuando se unen entre sí las piezas de Lego cuya geometría asegura una precisión superior a la de la mano del niño; 2) modularidad, las piezas de Lego hechas de diferentes materiales pueden ser unidas entre sí debido al uso de un interfaz común; 3) control local de la geometría, no se necesita un plano general para el montaje sino que la geometría global se produce desde los componentes locales; 4) reversibilidad, los componentes pueden ser desmontados y reutilizados en nuevas configuraciones. Si bien algunas de estas propiedades

resultan más complejas de entender, se pueden destacar dos de ellas, la del control de errores, que permitiría construir con precisión con elementos muy pequeños aunque los dispositivos para colocarlos no alcancen ese nivel de precisión, y la de la posibilidad de desmontaje y reutilización, que aborda el grave problema de la escasez de recursos y la sostenibilidad. Según este razonamiento, Gershenfeld, describe esta fase como el paso de las máquinas que hace máquinas que caracterizan la segunda fase a los *materiales digitales*. Este planteamiento supone, además, otras dos ventajas de gran importancia. La primera consistiría en que ya no se necesitarían máquinas diferentes para procesos diferentes, sino que un mismo tipo de máquina serviría para construir todo tipo de cosas. La segunda, que las complejas *supply chains* globales actuales, que fabrican y distribuyen cientos de miles de componentes, se reducirían a varias decenas de micro-componentes, con las consecuentes simplificaciones. Como decía, Gershenfeld y su equipo viene llevando a cabo múltiples experimentos de interés en esta línea, incluidos algunos en colaboración con empresas espaciales estadounidenses.

La cuarta y última fase del mapa de ruta aún plantea significativas dudas desde el punto de vista científico, al menos en opinión de los autores de este texto, aún sin llegar a valorar su interés más allá de los científicos. Tal como Gershenfeld la explica actualmente (2017: 178-181), se trataría de pasar de materiales digitales que son colocados por las máquinas de fabricación digital, a materiales digitales que estarían programados para componerse y autoreplicarse como ensambladores que a su vez construirían otros objetos. Esta fase haría realidad las especulaciones de John von Neumann durante la última etapa de su vida sobre lo que denominó *autómatas autoreplicantes* (figura 16). Esta tecnología, en definitiva, se asemejaría a los procesos de producción y reproducción de lo vivo, aunque con la capacidad de producir objetos que funcionasen además como dispositivos computacionales y de comunicación. En esta fase se pasaría de los 10^9 a los 10^{12} –un billón–, de unidades de fabricación digital, que Gershenfeld equipara al número de todos los objetos del mundo, unos 100 a 1.000 objetos por cada habitante del planeta, que estarían hechos de micro-legos, incorporando capacidad de computación y comunicación en una red global. El nombre que usa Gershenfeld para describir este escenario es el de *fabricación ubicua*, de nuevo un eco del modelo mejor conocido de la computación ubicua.

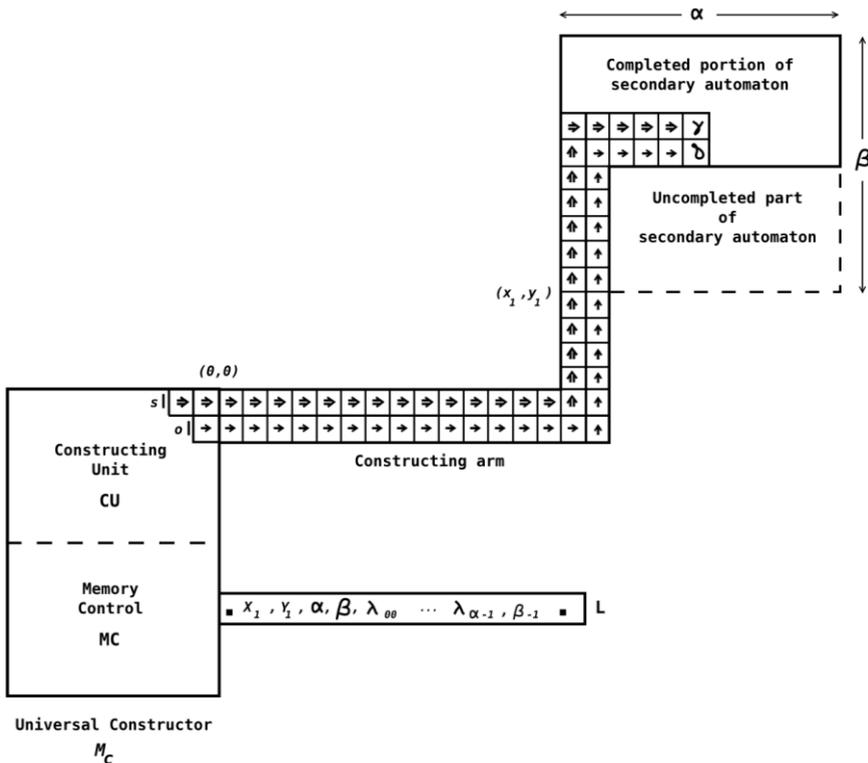


Figura 16: John von Neumann, ca 1950, diagrama de constructor universal o autómata auto-replicante. Fuente: Gershenfeld-Burke, 2017: 110; redibujado para el presente texto.

El mapa de ruta de Gershenfeld genera, por supuesto, múltiples dudas y a la vez ofrece un interesante marco de referencia para pensar. Nos limitaremos aquí a desarrollar un único argumento en el que se combinan varias cuestiones. En primer, lugar genera dudas sobre lo que puede percibirse como ambigüedad del planteamiento. Aunque se trate de una visión con una dimensión socio-técnica, —esto es, no se limita exclusivamente a cuestiones tecno-científicas sino que hipotetiza sobre la manera en que estos avances van a ser usados socialmente—, especialmente en sus dos últimas fases los presupuestos sociales resultan muy precarios y tecnocéntricos. La existencia de esta tecnología de micro-auto-ensambladores que opera con unas decenas de materiales *granelizados* y fáciles de producir, que permitiría no ya hacer casi cualquier cosa sino hacer casi todas las cosas, parece haber perdido la conexión mucho más evidente de las primeras etapas del mapa de ruta con la pretendida dimensión emancipadora de las tecnologías objeto de estudio. Mientras que las primeras fases destaca la inmediatez de los procesos de producción y su teórica accesibilidad a la mayoría de la población global, en las últimas fases estas cuestiones parecen quedar en suspenso. Considerando los antecedentes históricos — las revoluciones industriales, las dos primeras revoluciones digitales — y el marco de capitalismo

cognitivo desde el que parece que se produciría esta nueva fase de revolución tecnológica, resulta inevitable un cierto escepticismo sobre sus potenciales democratizadores y emancipadores. Probablemente, sería necesario imaginar otros modelos de futuro que partieran de un estudio y una crítica más profundos de las dos primeras revoluciones digitales, que en el último libro, efectivamente, introducen Alan y Joel C. Gershenfeld, pero de manera que muchos considerarían demasiado superficial. Una vez más, parece repetirse la convicción, que podría calificarse de fe, de que la construcción de una sociedad mejor fuera un problema esencialmente tecnológico, la vieja idea del progreso y el crecimiento decimonónicos.

Parte de esta fe en el progreso, aunque posiblemente no haya sido demasiado patente en la exposición previa, es la asunción de un futuro en el que el *Internet of Things*, estaría en la base de todas las cosas. Este presupuesto podría pensarse como una reducción al absurdo del planteamiento inicial, cuando la vida misma podría imaginarse como esta red de formas interconectadas, –lo que Bateson denominó *ecología de las ideas* (1970)–, que podría *cultivarse* con criterios más tradicionalmente ecológicos, en lugar de tratar de superponerle una nueva red artificial que necesariamente será aún más precaria y estará sujeta a todo tipo de riesgos, unos fácilmente previsibles y otros seguramente inimaginables: el caso de Pandora sobre el que reflexionaba recientemente Sennet (2008).

En cualquier caso, más allá de las buenas intenciones de la visión gershenfeldiana, los escenarios que va proponiendo sí que parecen presentarnos una situación en la que cada vez resulta más relevante la problemática que autores como Negri o Bifo (2017) vienen caracterizando con el término *General Intellect*³⁵: una situación en la que el principal elemento creador de valor – de uso y de intercambio – ya no es el trabajo llevado a cabo por personas, sino el conocimiento, más o menos colectivo, encarnado o materializado en máquinas y procesos; lo que determina que la orientación y el control de este conocimiento se conviertan en la clave para hacer posible una buena vida para todos, incluyendo aquí, el cuidado y la continuidad del resto de seres vivos y de los ecosistemas terráqueos de los que formamos parte. Se podría pensar que estas incógnitas tendrían que servir para orientar las políticas tecno-científicas de países no hegemónicos y tecnológicamente semi-colonizados, –como es el caso de España–, con planteamientos a medio y largo plazo como los que vienen proponiendo la economista Mariana Mazzucato (2018) o el pensamiento ecofeminista.³⁶

³⁵ Para una introducción clara a los debates contemporáneos en torno al General Intellect puede verse Paul MASON, 2015, *Postcapitalism. A Guide to the Future*, pp.133-138.

³⁶ Para una introducción al pensamiento ecofeminista contemporáneo pueden verse Yayo HERRERO, 2015, o Alicia PULEO, 2011.

5. ESTUDIO DE ESCENARIOS: LA TECNOLOGÍA PARECE SER LA RESPUESTA, PERO... ¿CUÁL ERA LA PREGUNTA?

Los que acarician la ilusión de que sería posible inducir a la multitud o a los hombres divididos por los negocios públicos a vivir según la disciplina exclusiva de la razón sueñan con la Edad de Oro o con un cuento de hadas. Baruch Spinoza citado por Jorge Moruno, diario Público 27/12/2017
Cada cual imagina a su modo el Paraíso; yo, desde la niñez, lo he concebido como una biblioteca. Jorge Luis Borges, 1962, Obras críticas

Terminaremos con la exposición y discusión de algunos escenarios más amplios que los presentados en la hoja de ruta gershenfeldiana, en los que estimamos que sería de interés situar los posibles futuros de la fabricación digital, aportando así nuevos elementos de juicio para pensar sus posibles contribuciones a las sociedades futuras, así como alternativas complementarias para imaginar su evolución. Lógicamente, este ejercicio final no podrá ser más que uno de pensamiento especulativo³⁷, que invite a los –valientes– lectores que hayan llegado hasta aquí a hacer sus propias reflexiones.

Cómo se viene repitiendo en diversos ámbitos, “Ya sabemos cual es la respuesta... ¿pero cuál era la pregunta?” - una expresión que nos sugiere que con la mayor frecuencia perdemos de vista cuáles son las preguntas que verdaderamente nos interesaría tratar de responder. La pregunta, la que nos podría importar más probablemente a una mayoría de los seres - ¿humanos y no humanos? - que habitamos este mundo, quizás no sea cómo podremos llegar a llenar el mundo con un billón de objetos inteligentes y conectados, fabricados con nano-ensambladores auto-replicantes – por muy interesante y seductora que pueda ser. Estimamos que una pregunta más relevante en relación con las tecnologías sería, más bien, cómo podemos utilizarlas, qué sentido debemos dar a su desarrollo, para que contribuyan a una vida mejor sobre el planeta. Por supuesto que ésta es una pregunta bastante más difícil, porque para empezar no es fácil llegar a definir qué es una buena vida, algo que seguramente haya ido cambiando históricamente, y que cada persona interpretará de forma diferente; y como comentaba César García en las conversaciones que hemos mantenido para escribir este artículo, los diferentes ideales tecnológicos en última instancia están vinculados a una idea de hombre (y mujer) y a una idea de sociedad... Y aun así, querríamos pensar que habría algunos temas básicos en los que la mayoría podría estar de acuerdo; como pudiera ser la cuestión de que todos los humanos puedan vivir con una cierta dignidad, seguridad y autonomía, que en la medida de lo posible el trabajo no suponga una esclavitud y una condición de

³⁷ Una interesante discusión sobre esta conceptualización de lo especulativo en el ámbito del diseño y las tecnologías puede verse en DUNNE & RABY (2013), *Speculative Everything. Design, Fiction, and Social Dreaming*.

alienación, que el resultado de nuestra actividad no destruya las condiciones para la vida y permita o contribuya a conservar razonablemente el planeta y sus ecosistemas vivos... Es evidente, por otra parte, que aun existiendo un acuerdo mínimo sobre estas cuestiones, existirán aún más diferencias sobre sus matices y sobre la manera de avanzar en esa dirección. En momentos como el actual, –a pesar de que contemos con el mayor conocimiento o al menos capacidad tecnológica de la historia de la Humanidad, que en teoría harían posible resolver la mayoría de estas cuestiones–, este propósito parece especialmente complicado.

Aunque obviamente carecemos de respuesta a estas preguntas presentaremos a continuación una serie de diagramas / cartografías con la ingenua esperanza de que sirvieran como herramienta para pensar, o como decían Deleuze-Guattari, para meditar, como proponían cuando hablaban de la cartografía como uno de los principios del rizoma (1994). Siendo consistentes con el estilo del presente texto, los diagramas tratan de cuestiones relativamente heterogéneas; el lector (lectora) deberá establecer sus propias conexiones. Un buen resultado de este proceso, a nuestro juicio, podría ser la formulación de nuevas y mejores preguntas.

5.1. Patrones de crecimiento

El primero de los diagramas presenta diferentes patrones de crecimiento –económico– según los describía la economista Ann Pettifor (2017: 45) siguiendo a Carmen Reinhart y Kenneth Rogoff (figura 17).

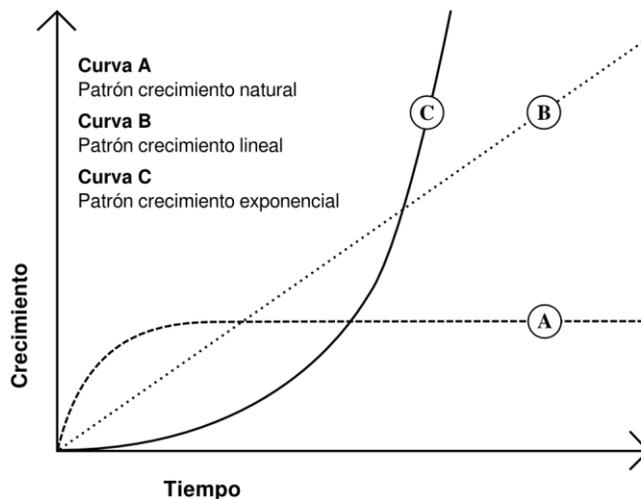


Figura 17: Comparación de diferentes patrones de crecimiento económico. Carmen Reinhart & Kenneth Rogoff, reproducido por Ann Pettifor (2017: 45). Traducido y redibujado para el presente texto.

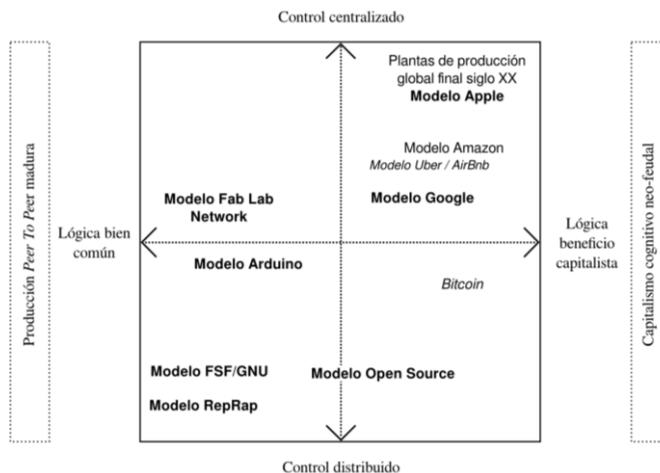
En este diagrama se representa el patrón de crecimiento de los sistemas/recursos naturales, que condicionados por los límites de un planeta finito,

crecen inicialmente de forma rápida, hasta alcanzar un cierto límite, estabilizándose en ese nivel (siempre que los recursos pudieran ser renovados natural o artificialmente para mantenerse ahí). El segundo patrón representa, como referencia, un sistema de crecimiento lineal. El tercero un sistema de crecimiento exponencial, en este caso concreto, representa el tipo de crecimiento capitalista. Dado que el sistema de acumulación capitalista se basa precisamente el crecimiento, y que se suele aceptar como adecuado desde un punto de vista económico, un crecimiento mínimo de un 3 % anual (Harvey, 2014: 222-245), el patrón es exponencial: en sus primeras fases el patrón es sensiblemente inferior al lineal, pero una vez que alcanza una cierta curvatura el crecimiento se dispara. La circunstancia problemática de esto, como es conocido, es que al contraponerse con el crecimiento del sistema natural aparecen graves contradicciones, que son las que vivimos actualmente y que vienen determinando la llamada crisis ecológica. Lógicamente, existe mucha reflexión y se proponen múltiples estrategias para abordar esta profunda contradicción –tipo economía circular, desplazamiento de la producción al sector servicios y del conocimiento, Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, incluso, decrecimiento...– pero a nadie se le escapa que las dificultades y las consecuencias para la sostenibilidad de la vida siguen aquí. Este diagrama debe compararse con el presentado previamente del desarrollo de las 4 fases de la fabricación digital propuesto por los Gershenfeld (figura 11). Estos autores abordan la cuestión, en cierto grado, con la propuesta de ensamblaje y des-ensamblaje de la cuarta fase y la creciente distribución en los ámbitos locales de los procesos de producción, pero aun así, sigue siendo un tema con dimensiones muy contradictorias. Nos preguntamos si no tendría que haber alternativas a la idea de producir un billón de nuevos “objetos tecnológicos” consumidores de energía como horizonte de nuestra civilización, que parece estar ya saturada de objetos superfluos.

5.2. Distribuido o centralizado & bien común o beneficio capitalista

El segundo diagrama (figura 18) es un tratamiento de un esquema canónico –en el ámbito de los estudios sobre economía colaborativa– de Kostakis y Bauwens (2014)³⁸, y reelaborado por diversos autores (Tebbens & Barandiarán, 2016). Presenta cuatro grandes modalidades o manifestaciones de la economía del conocimiento y tecnologías considerándolas desde el punto de vista de su lógica económica (capitalista u orientada al bien común) y de su carácter centralizado / distribuido. Puede relacionarse con otro diagrama presentado anteriormente sobre las tendencias principales de la fabricación digital (figura 2), aunque el actual se estructura con un carácter más analítico.

³⁸ Tratándose de un diagrama canónico, como decíamos, se presentan variaciones de éste en otros textos del presente volumen, aunque aquí se aplica específicamente al ámbito de la fabricación digital.



Dimensiones figura 18: 124 * 88 mm

Figura 18: Diagrama de modalidades de la economía colaborativa, incluso diversos ejemplos representativos, según su carácter centralizado y distribuido y su lógica capitalista y del bien común. Pérez de Lama, 2018, a partir de Kostakis & Bauwens, Barandiarán y Tebbens.

Los autores del diagrama original son conocidos académicos y activistas de la economía colaborativa, las tecnologías *peer to peer* y los procomunes con un larga experiencia en este campo.³⁹ Los cuatro escenarios presentados son los siguientes: en el cuadrante superior derecho se ubican las empresas o proyectos que funcionan según una lógica capitalista y con sistemas de organización centralizados. Estarían aquí desde empresas como Apple, que implementan lo que habíamos llamado, siguiendo a Castells, el modelo de la planta de producción global, con una dimensión colaborativa limitada, a otras que responderían al modelo Google, en las que la producción de buena parte de su producto es colaborativa, pero el desarrollo y control de la plataforma y las infraestructuras es centralizado, como lo son también los beneficios. Éste es uno de los modelos emergentes de la fabricación digital, en la que los individuos y pequeñas organizaciones son contribuyentes con sus diseños pero fundamentalmente consumidores de servicios: por ilustrarlo de forma muy simplificada, en este modelo la gente se suscribiría a servicios en la nube que les permitiría descargar diseños, personalizarlos, y también encargarlos para recibirlos de manera similar a como funciona actualmente Amazon. Podría decirse que, aunque emergente, éste es el modelo con mayor fuerza existente en

³⁹ Bauwens y Kostakis son miembros de la P2P Foundation. Barandiarán, doctor en Filosofía por la UPV y miembro histórico de la comunidad hacker en el estado español, fue uno de los principales impulsores del proyecto del *Buen Conocer* en Ecuador, un proyecto para reorganizar la economía de aquel país según las lógicas de las tecnologías y el conocimiento libres, colaborando actualmente con el Ayuntamiento de Barcelona en estas materias.

la actualidad, teniendo a Autodesk como una de las principales empresas que lo vienen explorando. Un clásico de ciencia ficción, la novela *The Diamond Age*, de Neal Stephenson (1996), presenta un interesante escenario de este tipo.

El segundo cuadrante, inferior derecha, presenta los proyectos que componen una lógica de beneficio capitalista con un control distribuido o descentralizado. De manera polémica situó aquí el universo *Open Source*, una derivación del software libre, que desarrolla software o también hardware con código abierto, que puede ser leído y modificado por cualquiera, pero que lo hace estratégicamente, como medio para apoyar la colaboración en régimen abierto, para economizar esfuerzo y costes y generar formatos compartidos, pero, en última instancia, incorporando dispositivos en sus desarrollos que cierran al público en general el uso abierto de sus productos o servicios finales, - distribuyéndolos según una lógica de mercado más o menos convencional. Aunque siempre se trataría de valorar el equilibrio razonable entre contribución al común y beneficio privado, éste equilibrio resulta difícil de determinar. Con facilidad, muchos de estos proyectos acaban inclinándose del lado de adjudicar buena parte de los gastos o el esfuerzo a lo público (y en este caso a lo común) y sin embargo, reservar la mayor parte de los beneficios, especialmente económicos, para la parte privada o empresarial.

No identificamos ningún proyecto concreto de fabricación digital en este ámbito, aunque podría especularse que el *hype* en el campo de la educación, el arte y el emprendimiento en torno a la fabricación digital, la mecatrónica o la robótica, en cierta medida podrían valorarse desde esta perspectiva; – algo que hace unos años ilustrábamos con la imagen de que los makers éramos los *mariachis del capital* – una expresión procedente de las SICAV – que sugiere que hay unos animando la fiesta con alegría y entusiasmo, pero que los que de verdad se benefician serán los organizadores del ágape.⁴⁰

El tercer cuadrante, arriba a la izquierda, presenta proyectos e iniciativas que están centradas en la lógica del bien común (que se plantea en el diagrama, tal vez polémicamente, como opuesta a la lógica capitalista, de lo privado) y que se gestionan con control centralizado. En este cuadrante los autores mencionados incluyen las acciones habituales de las administraciones públicas, y en este caso se incluyen iniciativas como la propia red Fab Lab que venimos comentando, que en buena parte cuenta con un proceso de toma de decisiones centralizado, en cuanto a las estrategias de mayor escala, aunque compatibilizada con una notable autonomía de los diferentes nodos que componen la red. El modelo de dirección para estas cuestiones estratégicas que afectan a la red en su

⁴⁰ Un interesante debate sobre esta cuestión se produjo en 2013 cuando los propietarios de Makerbot, una de las empresas pioneras de fabricación de impresoras 3D, que había sido desarrollada como un proyecto de hardware libre con una fuerte comunidad respaldándola, fue vendida a una de las principales corporaciones del sector. Sobre aquel debate puede leerse PÉREZ DE LAMA, 2013.

conjunto, según un tópico habitual en los proyectos de software libre, y según lo expresa el propio Neil Gershenfeld, sería el de una *dictadura benevolente*. En la discusión de la red que plantean los hermanos Joel y Alan Gershenfeld se presentan sin embargo tres tipos o niveles de agencia o participación: el primero, *top-down* ya mencionado, un segundo que correspondería a lo que podríamos llamar pioneros secundarios y cuadros, que sería *middle-out*, y un tercero el de los fabbers en general que sería *bottom-up*, siendo los tres niveles, según el análisis, necesarios y complementarios para el óptimo funcionamiento del proyecto (2017: 225). Debido a esta gobernanza mixta, en el cuadro la red Fab Lab se coloca en el tercer cuadrante aunque próxima al cuarto.

Finalmente, el cuadro cuadrante, abajo a la izquierda en nuestro caso, estaría los proyectos que se orientan según una lógica del bien común y que se organizan mediante un sistema distribuido. Estarían aquí propiamente el tipo de iniciativas que se suelen clasificar con la etiqueta de los *commons* o procomunes, asimilables, aunque con múltiples variaciones, a los modelos descritos por Elinor Ostrom (2008) o David Bollier (2014), entre otros. Se proponen aquí como casos paradigmáticos los de la *Free Software Foundation* y el proyecto *RepRap*. Éste último, por ejemplo, consiste en un desarrollo distribuido, colaborativo y completamente abierto de máquinas de impresión 3D, con tecnología FFF, que partiendo de un diseño inicial de 2006-2009, ha dado lugar a un proceso evolutivo no planificado, que ha llevado a mejorar el prototipo inicial hasta alcanzar una calidad muy elevada, así como a multitud de variaciones, entre las que cabría destacar las de Joseph Prusa, la sucesivas versiones de la Ultimaker, y más modestamente, la minifab que venimos construyendo en el Fab Lab Sevilla. Este desarrollo de un tejido o ecosistema productivo y de consumo en torno a la RepRap, no ha excluido que se hayan generado múltiples empresas, algunas de gran éxito, tanto fabricando componentes, como fungibles, como máquinas, que sin embargo siguen manteniendo su código abierto y un balance aceptado por la comunidad entre beneficio empresarial y beneficio para el bien común.

Dos comentarios sobre el diagrama. Kostakis y Bauwens lo plantean inicialmente desde la P2P Foundation, entidad cuyo objetivo original era el estudio de las configuraciones socio-técnicas en torno a las tecnologías *Peer To Peer*. Al menos en su planteamiento de partida, presuponen que las diferentes tecnologías determinan intrínsecamente, –usaremos el término *determina* para hacer más claro el argumento, aunque la cuestión tenga muchos matices–, el tipo de relaciones sociales y de poder y dependencia que se darán entre los que las emplean. Éste es sin duda un argumento de interés, especialmente en nuestro tiempo, en que las tecnologías contribuyen a conformar tantos aspectos de nuestras vidas; aunque es, también, un argumento discutible. Existe, en efecto, una rica e interesante tradición de pensamiento en esta línea en la que caben destacarse, entre otros, los trabajos sobre *convivencialidad* de Iván Illich (1973), ya mencionados, el movimiento de las tecnologías apropiadas inspirado por Schumacher (1973), las aproximaciones co-evolutivas al estudio de tecnologías y

sociedad (Brand *et al.*, citados por Gershenfeld, 2017: 126-127), o el propio movimiento del software libre (Stallman, 2004). Y en el caso concreto propuesto por Kostakis de las tecnologías *Peer To Peer*, en las que los datos y los servidores se encuentran distribuidos entre todos los componentes de la red se trataría de una práctica con un nivel de democracia sin duda elevado, en la que el control y las posibilidades de participación son en principio poco susceptibles de ser apropiadas por nodos individuales de la red. No obstante cabe señalar, por un lado, que otras formas tecnológicas también pueden ser gestionadas democrática y participativamente, dependiendo de su arquitectura no sólo tecnológica, sino sobre todo “institucional”, y por el lado opuesto, que tecnologías teóricamente democráticas pueden ser adoptadas de manera que terminen por no serlo, como vemos fácilmente en el caso de la evolución de la WWW. Aunque sin duda la capa de infraestructuras sea una de las más relevantes de cara a su control, típicamente se puede hablar de otras capas, lógica (software) y de contenidos (Benkler, 2006: 395), y será en la interacción de éstas y de las dinámicas de las redes en las que se produzcan diferentes efectos.

Una segunda cuestión, que introducen Kostakis y Bauwens cuando centran su mirada sobre el par centralización/distribución es lo que se denomina en el ámbito de la construcción y gestión de la infraestructuras como *unbundling* (Graham & Marvin, 2001) y que en cierto sentido también aborda Harvey en su aproximación a los *commons* (2012: 67-88). Con este término Graham y Marvin se refieren a las prácticas relativamente recientes de desagregar los componentes de las infraestructuras que son así gestionados por diferentes agentes, que además pueden hacerlo según diferentes criterios. El caso de la red eléctrica española o de la telefonía móvil constituyen buenos ejemplos, en los cuales producción, grandes redes de distribución, distribución y atención a clientes finales o contenidos son tratados como productos diferentes, al igual que la venta de terminales, aunque conjuntamente constituyan un mismo servicio. Es posible, y conviene, entonces, analizar redes como las de fabricación digital, no en cuanto que servicios o productos aislados sino como conjunto de redes, dispositivos y servicios, cada cual con sus propias lógicas y gobernanzas. Como vemos en casos como los de Google, en lo que una parte de sus servicios son gratuitos, parte de su producto (datos) es generado por los usuarios y otras partes son fuertemente propietarios, cabe también pensar, como hace Harvey, otras combinaciones, en las que haya partes de la red que sean públicas, otras estén gestionadas con criterios tipo *commons*, y haya también, finalmente, espacios para la iniciativa privada no monopolista.

Desde el punto de vista de su estudio, y también de su diseño y desarrollo, parecen en consecuencia necesarias metodologías y herramientas más complejas, que desde un punto de vista económico podría ser de tipo institucionalista (en la línea de la escuela creada por Veblen y continuada por

Gallbraith y en la que quizás podría incluirse hoy a Mazzucato)⁴¹, desde un punto de vista *sociológico*, de tipo *Actor Network Theory* (Latour, 2007) y desde un punto de vista más filosófico, de tipo *maquinismo*, según lo emplean Deleuze-Guattari (1994), Foucault, Sassen o Harvey.⁴² Todos estos serían modelos o herramientas tratan de comprender la complejidad de las interacciones entre formaciones sociales, subjetividades, objetos y contextos, evitando abstracciones y reduccionismos excesivos y mixtificadores. La figura siguiente complementa este comentario presentando un panorama de diferentes actividades que están siendo desarrolladas o que deberían desarrollarse para poder generar un nuevo ecosistema productivo, idealmente más emancipador que el de los modelos *netárquicos* hacia los que el sector parece estar orientándose. Los Gershenfeld proponen un diagrama parecido, pero planteándolo desde la perspectiva de los *stakeholders* implicados cuyos intereses, según su sistema, habría que tratar de *alinear* (2017: 220).

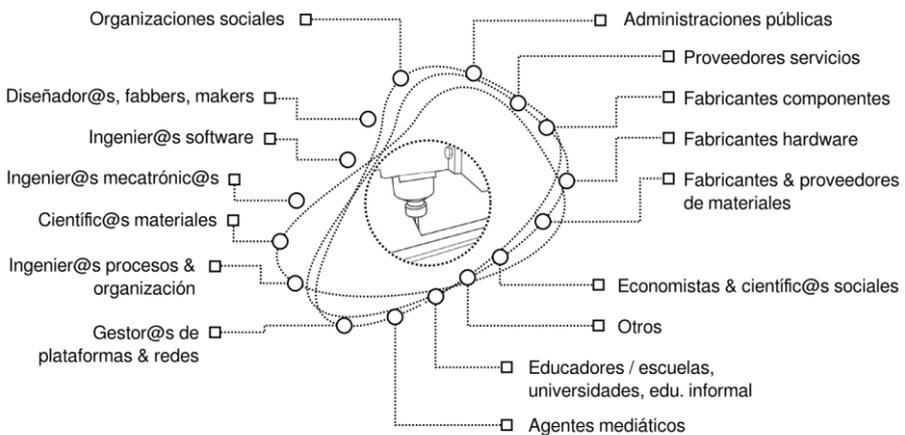


Figura 19: Diagrama con *stakeholders* del ecosistema o ecología de la fabricación digital. Pérez de Lama, 2018, a partir de versión anterior de 2011 y Gershenfeld 2017, p. 220.

5.3. Juego de los escenarios de futuro

Siendo la pregunta que estimamos que nos interesa más la de qué papel podría tener la fabricación digital colaborativa en una sociedad futura, cerraremos el presente texto con un último diagrama en el que se dibujan algunos posibles escenarios, sobre la matriz de las “4 Ps” propuesta por Dunne

⁴¹ Para una introducción a la escuela económica institucionalista puede verse Chang, 2014.

⁴² *Maquinismo* es un término ad hoc. DELEUZE & GUATTARI(1994), usan los conceptos de *máquina* y *agenciamiento* para describir este tipo de aproximación; Foucault, *dispositivo*; SASSEN (2014) ha usado recientemente del de *agenciamiento* (depredador), y Harvey (2012), a partir de Lefebvre usa el de *ensemble*, que es muy próximo al de agenciamiento. Un antecedente de este uso de máquina es Lewis MUMFORD (1970), que usó el concepto de *megamáquina* para describir el funcionamiento del sistema capitalista-industrial de la primera parte del siglo XX.

y Raby (2013). Esta matriz clasifica los escenarios de futuro en tres categorías principales: probable, plausible y posible, que los ordenaría de mayor o menor grado de probabilidad, valga la redundancia, desde nuestra actual perspectiva. A estas tres categorías, Dunne y Raby proponen añadir una cuarta, la de preferible, que se superpone a las anteriores, y que en esta ocasión dejaremos que sea trazada por los posibles lectores. Los escenarios propuestos, lógicamente, no agotan todas las posibilidades de futuros imaginables, existiendo muchas posiciones intermedias entre ellos, y seguramente otros muchos que no se enuncian. Los efectivamente mostrados tienen un cierto carácter hiperbólico, según recomendaba Brand (1994) en un ejercicio parecido, para subrayar las diferencias y las tendencias que se proponen para discutir.

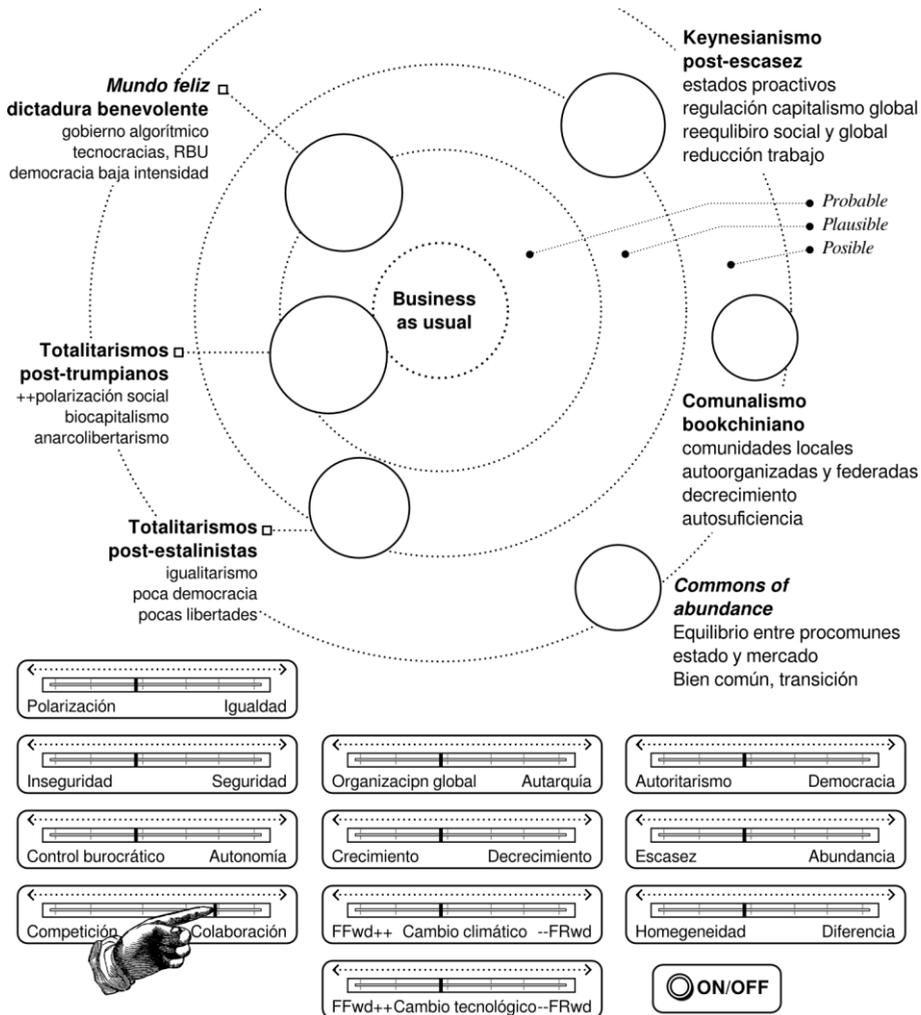


Figura 20: Estudio de escenarios socio-técnicos y políticos de futuro. Pérez de Lama, 2018.

[1] El escenario de referencia, que se ha denominado ***business as usual***, sería el de la continuación tal cual de las actuales tendencias hegemónicas, que según el consenso más convencional profundizarían en los problemas de cambio climático y polarización social, y en la que la fabricación digital tendería a ser dominada por una combinación del modelo de planta global distribuida, con la investigación y las funciones de *command and control* en entornos tipo Silicon Valley y la producción en países como China o sus sucesores, quizás combinado con modalidades secundarias tipo Google-Amazon con alguna dimensión colaborativa, pero poca distribución de la riqueza/ingresos generados. Para una recreación imaginativa de este modelo en cuanto a la fabricación digital puede verse la novela de ciencia ficción *The Diamond Age* de Neal Stephenson (1996).

[2 y 3] Otros dos escenarios que se sitúan en el área “probable” serían los de los **totalitarismos**, que hemos llamado post-trumpiano y post-estaliniano, que no necesitan de demasiadas explicaciones, y que para la mayoría, es de suponer, quedarían en principio fuera del área de lo preferible. Por seguir con los ejemplos de ciencia ficción, el escenario post-trumpiano se ilustraría bien con la serie de novelas cyberpunk de William Gibson del ciclo denominado *The Sprawl* (1984, 86, 88), aunque en éstas aún no aparezca explícitamente la fabricación digital.

[4] Un cuarto escenario sería el que parece ser promovido por ciertos sectores de Silicon Valley, que podría ser descrito como un **despotismo ilustrado apoyado en la Inteligencia Artificial** y diferentes modalidades de control algorítmico. Se usa el término *dictadura benevolente*, ya comentado, con el que se suele calificar el liderazgo de ciertos grandes proyectos Open Source. En este escenario la mayoría del trabajo productivo sería llevado a cabo por sistemas robotizados-automatizados. La mayoría de la población, con poca actividad productiva, sobreviviría gracias a un sistema de renta básica y, dependiendo del buen diseño del sistema, llevaría a cabo actividades más o menos enriquecedoras, que podrían pasar por esquemas colaborativos, pero poca participación real en la construcción del mundo en que habitan, salvo aquellos que formen parte de las élites tecnocráticas. Podemos imaginar que estas tecnocracias serían capaces de enfrentar los desafíos del cambio climático. Sería una vida similar a la descrita en los libros *Brave New World*, de Aldous Huxley (1932), o *We*, de Zamyatin (1921). Este escenario se sitúa en el diagrama entre la zona de lo probable y lo plausible.

[5] Un quinto escenario, próximo al anterior en algunos aspectos, es el que se ha denominado ***Keynesianismo de post-escasez***. Este escenario se caracterizaría por la continuidad de la relevancia de los estados democráticos y la consecución de acuerdos globales para el establecimiento de estrategias comunes económicas, financieras, productivas y climáticas conducentes a un mayor equilibrio global y a la reorientación de los avances tecnológicos, tanto para la distribución y reducción del trabajo llevado a cabo por los humanos,

como para detener los procesos de destrucción ambiental planetaria. En este escenario la fabricación digital distribuida y colaborativa podría tener un papel relevante, haciendo realidad algunas de sus líneas actuales de investigación como las de la generación de un conocimiento global combinado con la producción y gestión medioambiental locales. Este escenario es tan “aburrido” que es difícil encontrar obras de ciencia ficción que nos ayuden a visualizarlo. En el ámbito económico, Ann Pettifor (2017), actualizando el pensamiento del propio Keynes, presenta algunos de estos temas de manera convincente. Como también lo hace con una perspectiva más tecnológica el discutido Jeremy Rifkin (2011, 2014). Este escenario, dadas las obvias dificultades se sitúa en el territorio de lo “plausible” más que en el de lo “probable”.

[6] Un sexto escenario sería el de las **comunidades autosuficientes y autónomas** que proponía Bookchin en las décadas de 1960-70, y con las que se experimentó bastante durante aquellos años (Hayden, 1976; Turner, 2008). Sería en cierto modo un escenario no demasiado lejano del invocado por el actual movimiento municipalista que pone en valor la capacidad de autogobierno y de gestión de los recursos de las instancias locales. Este modelo subraya una vuelta a la autosuficiencia local, que en la actualidad, según proponen tanto el movimiento fab lab como el municipalista, podría ser una *autosuficiencia conectada*. Vicente Guallart argumenta de manera razonablemente consistente este modelo en su *Ciudad autosuficiente. Habitar en la era la información* (2012).⁴³ Un escenario relacionado, tal vez más verosímil, es el de un mundo polar, en el que el *business as usual* ocupa los espacios hegemónicos, pero en el que los excluidos se autorganizan en comunidades autónomas. Corey Doctorow presenta algo así en su última novela, *Walkaway* (2017), en la que desarrolla una de las recreaciones más atractivas de cómo podría emplearse la fabricación digital colaborativa y distribuida hechas hasta la fecha. Blair Evans, uno de las figuras más interesantes dentro de la red fab lab plantea también escenarios muy sugerentes en este sentido, en concreto para la regeneración del Detroit post-industrial, en torno a la fabricación digital comunitaria, la permacultura y las energías renovables (Gershenfeld, 2017: 192-194). Y efectivamente, vemos cosas parecidas en la vida real, como la ZAD, la comunidad del bosque de Nantes (Francia),⁴⁴ duramente atacada el pasado año por el gobierno de Macron, o Calafou, hasta ahora de un perfil más bajo que el francés, una eco-aldea hacker en Cataluña. Este escenario, se sitúa en el área de lo “posible”, no ya porque sea complejo construir una pequeña comunidad como éstas, que lo es, sino por la dificultad de que se constituyera en un modelo global generalizado.

⁴³ Este escenario de Guallart es a su vez desarrollado por el equipo del Fab Lab Barcelona y de la red global, en la línea de investigación y experimentación denominada *Fab City* (DIEZ, 2014, 2018).

⁴⁴ Véase, por ejemplo, https://en.wikipedia.org/wiki/Zone_to_Defend | accedido 22/11/2018

[7] Finalmente, se plantea un séptimo escenario que tendría los *commons*, –las instituciones del común para la producción y gestión de recursos–, en su centro. Podríamos imaginarlo como una federación de comunes de diferentes escalas, anidadas quizás, federados entre sí, y en los que cabría la multipertenencia: alguien podría participar de un *commons* de comunicaciones de escala continental, a la vez que de otro de producción agrícola o de producción de componentes electrónicos a escala local, y de otro para habitación o vivienda, a escala edificio o barrio. Este escenario, desarrollado por autores como David Bollier (2014), por ejemplo, resulta difícil de imaginar como una forma mayoritaria de vida, por lo que se sitúa en el más lejano confín del territorio de “lo posible”. Sin embargo, sí que podría resultar verosímil imaginarlo como parte de otros escenarios, para la protección de los océanos o de la biodiversidad, o como vemos sin necesidad de viajar al futuro, en el caso del software libre. Como con el software libre, podemos imaginar también que ciertas partes del ecosistema de la fabricación digital puedan configurarse como procomún, como ilustra bien el caso del proyecto RepRap, y tal vez en menor medida, el proyecto Arduino.

Franco Berardi *Bifo* (2017) aborda en su último libro la cuestión del futuro y las tecnologías. Para pensarlo, nos propone otra triplete de “Ps,” en su caso, posibilidad, poder y potencia. Para *Bifo*, cada presente tiene *inscritas* múltiples posibilidades, esto es precisamente a lo que llama *futurabilidad*, *el término que da título al libro*. El poder sería aquello que hace que una posibilidad sea la que se imponga sobre otras, que se concretaría a través de la *forma*, el *código*, que hace que una determinada posibilidad nos aparezca como necesaria e ineluctable, a la vez que las otras son invisibilizadas. La potencia finalmente, sería aquella capacidad de un cierto cuerpo social de hacer que una cierta posibilidad entre las diversas existentes llegue a hacerse visible y a convertirse en actual. Llegar a hacer reales unos escenarios frente a otros, tendría que ver con la potencia y el poder, según el sistema de Bifo; por ejemplo el escenario de la *Post-escasez keynesiana*, frente al *Mundo feliz* o el *Totalitarismo post-trumpiano*. Por su parte Deleuze-Guattari (1972) escribían que las *máquinas*, –máquinas en el sentido de la *megamáquina* de Mumford (véase nota 42) –, no pueden ser diseñadas; sólo, dicen los autores, nos es posible poblarlas. Poblarlas, según lo entiendo, sería habitarlas, enriquecer los ecosistemas, multiplicar las prácticas y conocimientos y dispositivos, generar narraciones, experimentar alianzas, producir subjetividades... incluso, posiblemente, desarrollar planes y hacer políticas públicas.

6. LAS CONCLUSIONES SON MÁS BIEN NUEVAS PREGUNTAS

Se observará que los autores no han sido capaces de alcanzar ninguna gran conclusión. Con una modesta certeza se puede afirmar que la fabricación digital sí que supondrá, e incluso que ya viene suponiendo, una nueva revolución digital. La posibilidad de que esta revolución pudiera suponer cambios significativos en la agencia de las personas y comunidades locales, así como un

cambio hacia una mayor sostenibilidad en el ciclo de producción, distribución y reciclaje de los bienes materiales está ahí, y está siendo enunciada y explorada por múltiples iniciativas. Sin embargo, lo más verosímil, dadas las actuales tendencias, es que esta “revolución” tome una forma tipo Google/Amazon/Uber. Aun así, también es probable que puedan quedar espacios de emancipación y autonomía, vinculados a la producción colaborativa y distribuida, análogos a los que hoy existen en torno al software libre. Sí nos parece muy cierto que formarnos y experimentar en este ámbito es hoy algo enriquecedor tanto para las personas como para las comunidades, incluso sería muy recomendable como política pública en países como el nuestro. Se trataría de poblar, como decíamos antes, las ecologías emergentes con otros deseos, prácticas, alianzas...

Aunque no haya conclusiones contundentes, esperemos que lo que sí se haya conseguido, al menos, sea aportar temas y argumentos para plantear otras preguntas que las que habitualmente se hacen en este campo; y que algunas de éstas puedan ser importantes para pensar el presente y la *futurabilidad* de la fabricación digital colaborativa, no ya como un ámbito autónomo, sino como parte de la construcción de otras formas de vida.

Cerremos ya del todo con una cita *tuitera* de Mazzucato, en la que cuestiona los objetivos mismos de la economía y el significado de la innovación:⁴⁵

Ayer hablé con los trabajadores de [...]. Una discusión inspiradora acerca de cómo el trabajo de cuidados deben ser altamente valorados & ser objetos de inversión en tanto que recurso básico de la nación. Algo antes esta misma semana me preguntó @WiredUK cuál había sido la mejor innovación de siempre. Les dije que el “fin de semana” luchado por los sindicatos. @Mmazzucato, Twitter, 03/11/2018

El presente texto no debe verse más que como un fragmento o fotografía parcial de las conversaciones en macha desde hace unos años entre los autores y otros colegas, y, más importante quizás, entre la teoría y la práctica. Una conversación que pensamos que está tan sólo en sus fases iniciales y en la que aún está casi todo por pensar, decir y experimentar.

⁴⁵ El texto original: Yesterday spoke to [...] workers [...] Inspiring discussion on how CARE work should be highly valued & invested in as a key resource for nation. Earlier in week i was asked by @WiredUK what best ever innovation was. I said 'the weekend' fought by trade unions.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Edith Ackermann, sf, *Piaget's Constructivism, Papert's Constructionism: What's the difference?*, disponible en: [http://learning.media.mit.edu/content/publications/EA.Piaget %20_ %20Papert.pdf](http://learning.media.mit.edu/content/publications/EA.Piaget%20_%20Papert.pdf) | accedido 02/11/2018
- Sara Alavarellós Navarro, César García Sáez *et al.*, 2015, Manual de supervivencia maker, Asociación Makespace Madrid, Madrid
- Chris Anderson, 2012, *Makers. The New Industrial Revolution*, Random House Business Books, Nueva York, Londres
- _____, 2006, *The Long Tail: Why the Future of Business Is Selling Less of More*, Hyperion, Nueva York
- John Arquilla, David Ronfeldt, (eds.), 2001, *Networks and Netwars: The Future of Terror, Crime and Militancy*, Rand Corporation, Santa Mónica, disponible en: <http://www.rand.org/publications/MR/MR1382/> | accedido 21/10/2018
- Paul Baran, 1962, *On Distributed Communications Networks*, Rand Corporation, disponible en: <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/papers/2005/P2626.pdf> | accedido 02/11/2018
- Gregory Bateson, 1970, *Form, Substance, and Difference*, 19ª Conferencia anual en memoria de Korzybski, General Semantics Bulletin, No 37, 1970; reproducida en G.B, 2000, *Steps to an Ecology of Mind*, The University of Chicago Press, Chicago, pp. 454-471
- Yochai Benkler, 2006, *The Wealth of Networks. How Social Production Transforms Markets and Freedoms*, Yale University Press, New Haven & Nueva York
- Franco Berardi Bifo, 2017, *Futurability. The Age of Impotence and the Horizon of Possibility*, Verso, Londres Nueva York
- Tim Berners-Lee, 2000, *Weaving the Web. The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web*, Harper Business, Nueva York
- David Bollier, 2014, *Think Like a Commoner. A Short Introduction to the Life of the Commons*. New society publishers, Gabriola Island, Canada
- Murray Bookchin, 2004, *Post-scarcity Anarchism*, AK Press, Edinburgh-Oakland
- _____, 1965, *Towards a Liberatory Technology*, en: M. Bookchin, 2004, *Post-scarcity Anarchism*, AK Press, Edinburgh-Oakland, pp: 41-84

- Stewart Brand, 1994, *How Buildings Learn. What Happens After They Are Built*, Penguin, Nueva York
- Benjamin Bratton, 2015, *The Stack. On Software and Sovereignty*, The MIT Press. Software Studies Series, Cambridge
- Manuel Castells, 1997 (edición original en inglés 1996), *La era de la información. Economía, sociedad y cultura. Volumen 1: La sociedad red*, Alianza Editorial, Madrid
- Ha-Joon Chang, 2014, *Economics: The User's Guide*, Penguin, Londres
- Antonella Corsani, 2004, *Hacia una renovación de la economía política. Antiguas categorías e innovación tecnológica*, en: Y.M. Boutang, A.Corsani, Maurizio Lazzarato *et al.*, 2004, *Capitalismo cognitivo, propiedad intelectual y creación colectiva*, Traficantes de Sueños, Madrid; pp. 89-98
- Gilles Deleuze, Félix Guattari, 1994 (traducción de José Vázquez Pérez, edición original en francés de 1980), *Mil Mesetas. Capitalismo y esquizofrenia*, Pre-Textos, Valencia
- , 1972, *Balance-Sheet of Desiring-Machines*, traducción de R. Hurley, Appendix to 2nd edition of *Anti-Oedipe*, Minuit, Paris; en: Félix Guattari, 2009, *Chaosophy. Texts and Interviews 1972-1977*, Semiotext(e), Los Angeles
- Tomás Díez (coord.), 2018, *Fab City. The Mass Distribution of (Almost) Everything*, Iaac, Barcelona
- Tomás Díez, Neil Gershenfeld, Vicente Guallart, 2016, *Fab City Whitepaper. Ciudades productivas, localmente autosuficientes y globalmente conectadas*, en: J. Pérez de Lama *et al.* (eds.), 2017, *Machines of Loving Grace. Fabricación digital, arquitectura y buen vivir*, Lugadero, Sevilla; pp. 18-26.
- Cory Doctorow, 2017, *Walkaway-Tor*, Macmillan, Nueva York
- Anthony Dunne, Fiona Raby, 2013, *Speculative Everything. Design, Fiction, and Social Dreaming*, The MIT Press, Cambridge
- César García Sáez, 2016, *(Casi) todo por hacer. Una mirada social y educativa sobre los Fab Labs y el movimiento maker*, Fundación Orange, Madrid
- Neil Gershenfeld, Alan Gershenfeld, Joel Cutcher-Gershenfeld, 2017, *Designing Reality. How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution*, Basic Books, Nueva York
- Neil Gershenfeld, 2012, *How to Make Almost Anything. The Digital Fabrication Revolution*, en www.foreignaffairs.com, Council on Foreign Relations, Inc.; disponible en: <http://cba.mit.edu/docs/papers/12.09.FA.pdf> | accedido 02/11/2018
- , 2005, *Fab. The Coming Revolution on Your Desktop – From Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books, Nueva York

- William Gibson, _ The Sprawl Trilogy: Neuromancer, 1984; Count Zero, 1986; Mona Lisa Overdrive, 1988, múltiples ediciones
- Stephen Graham, Simon Marvin, 2001, Splintering Urbanism. Networked Infrastructures, Technological mobilities and the urban condition, Routledge, Oxon & Nueva York
- Vicente Guallart, 2012, La ciudad autosuficiente: Habitar en la sociedad de la información, RBA, Barcelona
- Félix Guattari, 2000 (edición original en francés 1989), Las tres ecologías, Pre-Textos, Valencia
- Félix Guattari & Gilles Deleuze, 1972, Balance-Sheet of Desiring-Machines, translated by Robert Hurley, Appendix to 2nd edition of Anti_Oedipe, Minuit, Paris; in: Félix Guattari, 2009, Chaosophy. Texts and Interviews 1972-1977, Semiotext(e), Los Angeles
- Katie Hafner, Matthew Lyon, 2006 (edición original de 1996), When Wizards Stay Up Late. The Origins of the Internet, Simon & Schuster, Nueva York
- Michael Hardt & Antonio Negri, 2009, Commonwealth, Belknap Harvard, Cambridge
- David Harvey, 2014, Seventeen Contradictions and the End of Capitalism, Profile Books, London
- _____, 2012, Rebel Cities. From the Right to the City to the Urban Revolution, Verso, London New York
- _____, 2010, A Companion to Marx's Capital, Verso, Londres
- _____, 1987, *Flexible accumulation through urbanization: reflections on post-modernism in the American city*, Antipode 19, pp. 260-286
- Dolores Hayden, 1976, Seven American Utopias: The Architecture of Communitarian Socialism, 1790-1975, The MIT Press, Cambridge
- Yayo Herrero, 2015, *Apuntes introductorios sobre ecofeminismo*, Boletín electrónico de Hegoa; n°43, junio 2015, Bilbao; disponible en: <http://publicaciones.hegoa.ehu.es/publications/334> | accedido 21/11/2018
- Brian Holmes, 2001, *The Flexible Personality. For a New Cultural Critique*, en: Brian Holmes, 2003, Hieroglyphs of the Future, What, How and For Whom, Zagreb; disponible en castellano en: *La personalidad flexible*, en: <http://transform.eipcp.net/transversal/1106/holmes/es> | accedido 21/10/2018

- Pekka Himanen (prólogo de Linus Torvalds; epílogo de Manuel Castells), 2002 (edición original en inglés de 2001), *La ética del hacker y el espíritu de la era de la información*, Destino, Barcelona
- Aldous Huxley, 2007 (edición original de 1932), *Brave New World*, Vintage, Londres
- Ivan Illich, 2012, *La convivencialidad* (edición original: 1973, *Tools for Conviviality*), Virus Editorial, Barcelona
- Steven Johnson, 2002 (primera edición de 2001), *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*, Scribner, Nueva York
- Christopher M. Kelty, 2008, *Two Bits. The Cultural Significance of Free Software*, Duke University Press, Durham and London
- Kevin Kelly, 1999, *New Rules for the New Economy: 10 Radical Strategies for a Connected World*, Penguin, Nueva York
- J.M. Keynes, 1930, *Economic Possibilities for Our Grandchildren*, en: J.M. Keynes, 1963, *Essays in Persuasion*, New York: W. W. Norton & Co.; pp. 358-373; traducción al español disponible en: <https://arquitecturacontable.wordpress.com/2016/10/23/posibilidades-economicas-de-nuestros-nietos-j-m-keynes-1930/> | accedido 04/11/2018
- Vasilis Kostakis & Michel Bauwens, 2014, *Network Society and Future Scenarios for a Collaborative Economy*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK
- Piotr Kropotkin, 2016 (ediciones originales de 1902 & 1920), *El apoyo mutuo. Factor de evolución*, Pepitas de Calabaza, Logroño
- Paul Lafargue, 2013 (edición original en francés de 1880), *El derecho a la pereza*, Maia Ediciones, Madrid
- Bruno Latour, 2007 (primera edición en inglés de 2005), *Reassembling the Social. An Introduction to the Actor-Network Theory*, Oxford University Press, Oxford – Nueva York
- Steven Levy, 2010 (edición original de 1984), *Hackers. Heroes of the Computer Revolution*, O'Reilly, Sebastopol
- Martá Malé Alemany, 2015, *El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura: hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción*, tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, UPC [lectura 04/02/2016]. Disponible online: <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/96262> | accedido: 09/03/2017
- Karl Marx, 2007 (edición original de 1867), *El Capital. Libro 1 Tomo III*, Akal, Madrid

- Paul Mason, 2015, *Postcapitalism. A Guide to the Future*. Penguin. Random House, Londres
- Mariana Mazzucato, 2018, *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs Private Sector Myths*, Penguin, Londres
- Lewis Mumford, 1970, *The Pentagon Of Power: The Myth Of The Machine (Volume II)*, Harcourt Brace Jovanovich, Nueva York
- Elinor Ostrom, 2008 (edic. orig. 1990), *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*, Cambridge University Press, Cambridge
- Seymour Papert, 1993 (edición original de 1980), *Mindstorms. Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books, Nueva York
- José Pérez de Lama, 2017, *Emancipatory Technologies in Computation and Architecture. From PC-s to Personal Fabrication*, en: Philippe Morel, Leda Dimitriadi & Christian Girard (editores), 2017, *Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris-Malaquais*, París: pp: 79-91
- , 2016, *Emergencia de la ciudad digital, recuerdos y valoración de 30 años de digitalización. Entre lo banal y lo epocal*, en: A. Álvarez Gil, F. Pérez del Pulgar, F. Ventura Blanch (directores), 2016, *Fundamentos. Arquitectura, Paisaje, Patrimonio, Recolectores Urbanos*, Málaga; pp: 69-85
- , 2013, *Fabrication Numerique et Culture Libre, un Devenir Mineur Plus?*, en: E. Chardonnet (editor), 2013, *Artisans Numeriques*, HYX-Access Cultures Electroniques, Orleans; pp. 39-76
- , 2007, *Entre Blade Runner y Mickey Mouse. Nuevas condiciones urbanas. Una perspectiva desde Los Ángeles, California [1999-2002]*, capítulo 4: *Anarcogeografías de las redes sociales*, tesis doctoral, Universidad de Sevilla; disponible en: http://www.hackitectura.net/osfavelados/2006_elretorno/04_redes_sociales_web_06.pdf | accedido 04/11/2018
- Ann Pettifor, 2017, *The Production of Money. How to Break the Power of Banks*, Verso, Londres
- Alicia Puleo, 2011, *Ecofeminismo para otro mundo posible*, Cátedra, Madrid
- Eric S. Raymond, 2000 (primera versión de 1997), *The Cathedral and the Bazaar*, disponible en: <http://www.catb.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/cathedral-bazaar/> | accedido
- Howard Rheingold, 2002, *Smart Mobs. The Next Social Revolution*, Perseus Publishing, Cambridge

- Jeremy Rifkin; 2014, *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, Palgrave MacMillan, New York
- , 2011, *The Third Industrial Revolution. How Lateral Power is Transforming Energy, The Economy, and The World*, Palgrave MacMillan, New York
- Daniel Sarewitz, 2016, *Saving Science*, *The New Atlantis*, Number 49, Spring/Summer 2016, pp. 4–40, disponible en: <http://www.thenewatlantis.com/publications/saving-science> | accedido 16/11/2018
- Saskia Sassen, 2014, *Expulsions. Complexity and Brutality in the Global Economy*, Belknap Harvard, Cambridge
- E. F. Schumacher, 1973, *Small is Beautiful. A Study of Economics As If People Mattered*, Blond & Briggs, London; disponible en: <https://web.archive.org/web/20141014171926/http://www.ditext.com/schumacher/small/small.html> | accedido 21/11/2018
- Richard Sennet, 2008, *The Craftsman*, Penguin, Londres
- Jimmy Soni & Rob Goodman, 2018, *A Mind at Play. How Claude Shannon Invented the Infomation Age*, Simon & Schuster, Nueva York
- Richard Stallman, 2004 (edición original en inglés de 2002: *Free Software, Free Society*), *Software libre para una sociedad libre*, Traficantes de Sueños, Madrid
- Neal Stephenson, 1996 (primera edición 1995), *The Diamond Age*, Penguin, Londres
- Bruce Sterling, 2005, *Shaping Things*, MIT Press, Cambridge
- Don Tapscott, Anthony Williams, 2006, *Wikinomics. How Mass Collaboration Changes Everything*, Penguin, Nueva York
- Fred Turner, 2008 (edición original de 2006), *From Counterculture to Cyberculture: Stewart Brand, the Whole Earth Network, and the Rise of Digital Utopianism*, University of Chicago Press, Chicago
- David Vila-Viñas, Xabier Barandiarán (eds.), 2015, *Flok Society. Buen conocer. Métodos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en Ecuador*, IAEN / Flok Society, Quito; disponible en: <http://book.floksociety.org/ec/> | accedido 30/10/2018
- McKenzie Wark, 2014, *Molecular Red. Theory for the Anthropocene*, Verso, London
- Raymond Williams, 1988 (1976, 1983), *Keywords. A vocabulary of culture and society*, Fourth Estate, Londres

Yevgeny Zamyatin, 2007 (escrita en 1921), We, Vintage, Londres

8. AGRADECIMIENTOS

A los profesores David Patiño Rodríguez y Rosario Gómez-Álvarez, editores del presente volumen, por la invitación a participar. Al equipo del Fab Lab Sevilla, Universidad de Sevilla y a la red fab lab global.