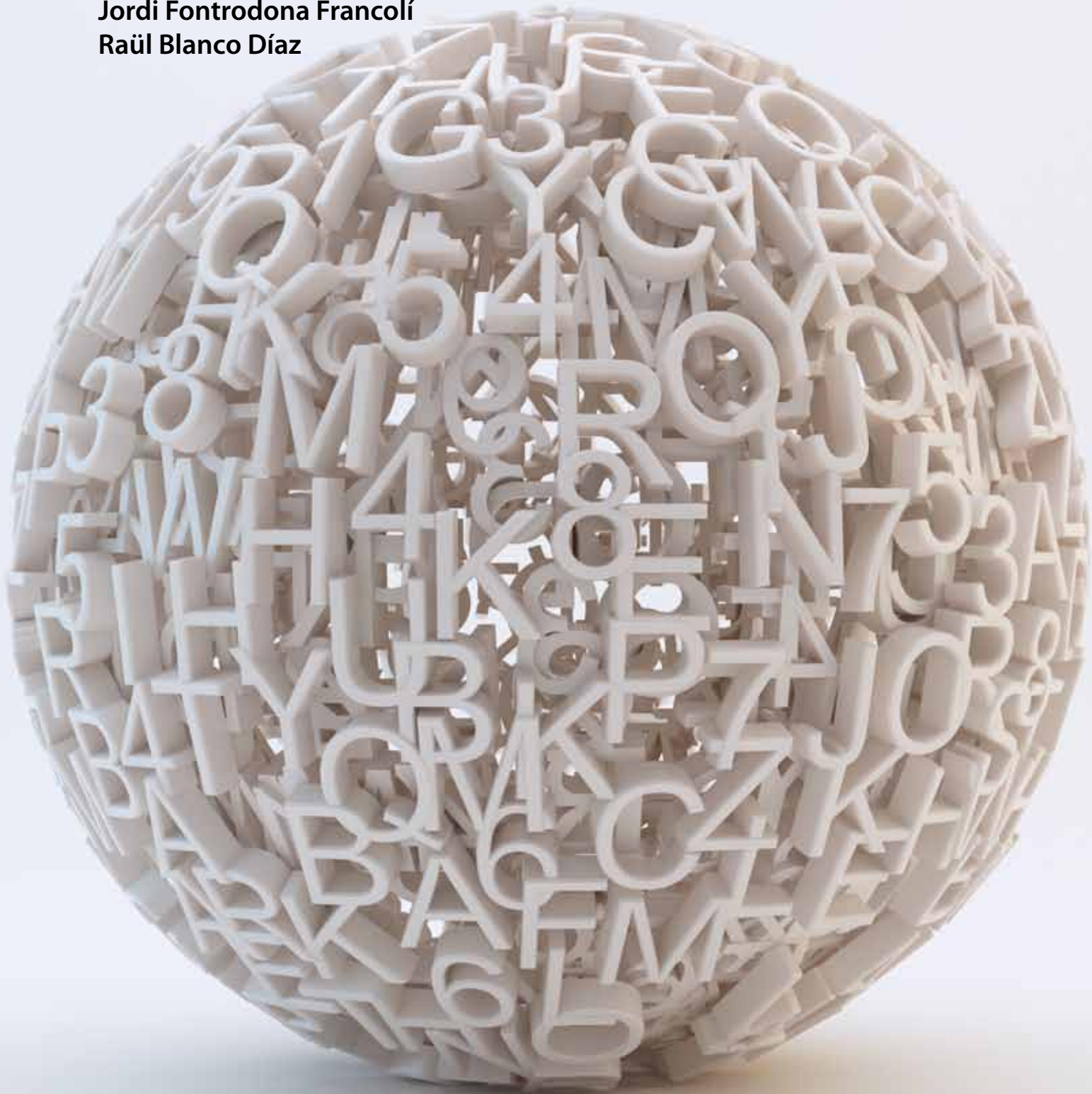


Estat actual i perspectives de la impressió en 3D

Jordi Fontrodona Francolí
Raül Blanco Díaz



© **Generalitat de Catalunya**

Departament d'Empresa i Ocupació

Direcció General d'Indústria

Passeig de Gràcia, 129

08008 Barcelona

Tel. 93 476 72 00

<http://empresaiocupacio.gencat.cat>

Estat actual i perspectives de la impressió en 3D

Jordi Fontrodona Francolí

Raül Blanco Díaz

Direcció General d'Indústria

Col·lecció:

Articles d'economia industrial

Disseny i maquetació: www.cege.es

Barcelona, desembre de 2014

D. L.: B 27594-2014

El Departament d'Empresa i Ocupació no participa necessàriament de les opinions manifestades en els documents de la col·lecció «Articles d'economia industrial», la responsabilitat de les quals correspon exclusivament als autors.



Avís legal

Aquesta obra està subjecta a una llicència Reconeixement –No Comercial– Sense Obres Derivades 3.0 de Creative Commons. Se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi a l'autor i no se'n faci un ús comercial de l'obra ni la generació d'obres derivades.

La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

1. Introducció

La **impressió en tres dimensions** (*3D printing*) és el procés d'unir materials per fer objectes a partir d'un model digital, normalment posant una capa a sobre d'una altra, per contraposició a les metodologies de fabricació sostractives, com ara el mecanitzat tradicional.

No obstant això, aquest terme s'associa més aviat a la impressió feta a casa o en comunitat, mentre que si s'aplica a tecnologies de producció i a cadenes de subministrament, se sol utilitzar el terme **fabricació additiva** (*additive manufacturing, AM, o rapid manufacturing*)¹.

Aquesta tecnologia representa una revolució en la manera de treballar els materials al llarg de la història. La primera tècnica va ser la sostractiva: un material és apartat successivament d'un bloc sòlid fins que s'obté la forma desitjada (com les eines de l'edat de pedra). El 6.000 abans de Crist es va aprendre a combinar i ajuntar elements i materials, com és el cas dels teixits. El 3.000 abans de Crist, es van començar a aplicar forces mecàniques i/o calor per aconseguir la forma desitjada, amb tècniques com la flexió, la fosa o l'emmotllament.

A part d'algunes experiències prèvies, es pot dir que la impressió en 3D va començar el 1984, quan Chuck Hull va patentar el seu sistema als Estats Units, amb el nom de *stereolithography*. El 1986, va crear l'empresa 3D Systems i altres la van seguir, de manera que el 1987 el prototipat ràpid (*Rapid Prototyping*) ja era una realitat comercial. El 1990 es comença a aplicar la fabricació additiva per obtenir patrons de fosa (*Rapid Casting*), el 1995, per obtenir eines de producció, especialment motlles d'injecció (*Rapid Tooling*) i el 2000, per obtenir peces de producció (*Rapid Manufacturing*). A partir d'aquí, el desenvolupament ha estat molt ràpid, gràcies també a l'expiració de diferents patents²: si entre 1984 i 2011 es van vendre al món 45.000 impressores 3D, el 2012 se'n van vendre el mateix nombre en un sol any.

La tecnologia de la impressió 3D fa, doncs, 30 anys que existeix, però s'ha difós àmpliament en els darrers cinc anys per diferents causes:

- Es disposa de nous materials amb majors funcionalitats i prestacions.
- Han vençut les patents que protegien algunes tecnologies de fabricació additiva, permetent així l'entrada al mercat d'univer-

sitats i empreses petites fabricant i comercialitzant impressores personals econòmicament molt assequibles.

- La tasca de màrqueting que estan realitzant les empreses líders a nivell global.
- Les aplicacions insospitades que s'han resolt amb aquestes tecnologies de fabricació i la difusió que n'ha permès Internet.

Els materials que poden treballar les impressores 3D són molt diversos (més de 200) i van des de productes orgànics (ceres, cèl·lules, teixits, aliments) fins a metalls (alumini, titani, acer inoxidable...), passant per materials ceràmics (grafit, zircònia...) i polímers (ABS, poliamida, policarbonat...). Algunes màquines poden combinar materials, fent un objecte rígid en una part i tou en una altra. Així mateix, poden produir components plenament funcionals, incloent mecanismes complexos, bateries, transistors o LED.

La màquina que va patentar Chuck Hull funcionava utilitzant un làser ultravioleta per solidificar una fina capa de resina acrílica i, repetint el procés afegint resina a sobre i solidificant-la de nou, creava, capa sobre capa, l'objecte en tres dimensions. Altres formes d'impressió 3D han sorgit des de llavors, però totes treballen com un procés additiu, construint objectes per addició de material capa a capa. El programari que dirigeix el procés fa una sèrie de *llesques* digitals del model generat amb CAD3D i envia la descripció d'aquestes capes a la impressora, que les va reproduint i afegint una a sobre de l'altra fins que en resulta l'objecte sòlid complet.

Els processos d'AM poden ser classificats pel tipus de material que utilitzen, per la tècnica de deposició o per la manera en la qual el material es fon o se solidifica. Els processos s'han categoritzat en set àrees:

1. Vat Photopolymerisation
2. Material Jetting
3. Binder Jetting
4. Material Extrusion
5. Powder Bed Fusion
6. Sheet Lamination
7. Directed Energy Deposition

Aquesta tecnologia està liderada per Estats Units i Europa (especialment, Alemanya). Entre els diversos fabricants mundials destaquen els següents:

¹ Altres termes que s'utilitzen són: *Generative Manufacturing* (Alemanya), *eManufacturing* (Alemanya), *Constructive Manufacturing* (Alemanya), *Additive Layer Manufacturing-ALM* (Escandinàvia i EADS), *Direct Digital Manufacture-DDM* (Estats Units), *Freeform Fabrication-FFF* (Estats Units), *Solid Freeform Fabrication-SFF* (Estats Units).

² L'expiració de l'última patent d'estereolitografia va ser l'abril d'aquest any. Les patents sobre les màquines d'estereolitografia van expirar fa gairebé una dècada, però no van aportar cap canvi significatiu en l'aparició de nous sistemes a causa de la complexitat i dels costos associats al procés efectuat amb làser. El major canvi es va donar amb l'expiració de les primeres patents d'FDM de la firma Stratasys que va donar lloc a l'aparició de totes les impressores personals (Makerbot, Rep Rap, Bits from bytes, Cube, i desenes més de marques...) que es basen en "fondre" fil de plàstic. També han aparegut algunes empreses amb nous equips 3D (impressores personals) basats en el mateix principi que l'estereolitografia, però són molt menys nombroses.

Aquest gener ha expirat la patent d'SLS i ja hi ha dues màquines preparades per sortir al mercat amb preus entre 10 i 20 vegades menor que el de les que es comercialitzen actualment amb unes prestacions semblants. Aquest any expiren nou patents més. Veure enllaç: <http://3dprintingindustry.com/2013/12/29/many-3d-printing-patents-expiring-soon-heres-round-overview/>

- Stratasy: nord-americana (www.stratasy.com), concentra el 50% del mercat.
- Objet Geometrics: israeliana, que el 2011 es va fusionar amb Stratasy.
- 3D Systems: nord-americana (www.3dsystems.com).
- OS GmbH: alemanya (www.eos.info).
- Z Corporation: nord-americana (www.zcorp.com), que va ser adquirida per 3D Systems el 2012.
- Vidar: nord-americana (www.vidar.com), que va ser adquirida per 3D Systems el 2012.
- EnvisionTEC: alemanya (www.envisiontec.com).
- ARC Group Worldwide: nord-americana (www.arcgroupworldwide.net).
- EX ONE: nord-americana (www.exone.com).
- Voxeljet: alemanya (www.voxeljet.de).
- Arcam: sueca (www.arcam.com).
- Renishaw: anglesa (www.renishaw.com).
- DWS: italiana (<http://dwssystem.com>).
- Arburg: alemanya (www.arburg.com).
- DMG Mori: alemanya (<http://www.dmgmori.com>).
- Matsuura Machinery Corporation: japonesa (<http://www.matsuura.co.jp/english/contents/products/lx.html>).
- CMET: japonesa (<http://www.cmet.co.jp/eng/>).
- D-MEC Ltd: japonesa, amb vincles amb Sony Corp. (<http://www.d-mec.co.jp/eng/>).
- Roland: japonesa (<http://es.rolanddg.com/solutions/rapid-prototyping/>).

Els fabricants japonesos, amb l'excepció de Roland, no tenen gaire presència als mercats exteriors atès que sembla ser que el Govern japonès ha donat un suport important a l'R+D en aquesta tecnologia i és reticent al fet que els equips desenvolupats amb suport estatal es vinguin a l'exterior sense que abans s'hagin explotat suficientment en el mercat interior.

Cal destacar que hi ha nombroses multinacionals que no estan en el negoci de la impressió 3D i hi estan entrant (HP, Océ, Roland...), ateses les enormes expectatives que desperta el seu desenvolupament actual i futur. HP està entrant en impressió 3D perquè en origen tenia una *joint-venture* amb Stratasy i ara volen fer-ho amb tecnologia pròpia. **Al seu centre de Sant Cugat dissenyaran i desenvoluparan tots els models de màquines de fabricació additiva per ser produïdes i muntades a Àsia. El passat octubre van presentar la primera impressora, la Multi Jet Fusion. Aquest projecte rebrà 21 milions d'euros del Govern espanyol per a la generació de projectes d'R+D conjuntament amb empreses i centres tecnològics.**

El sector mundial de la fabricació additiva (AM) (màquines, materials i serveis associats) es va estimar en 1.900 milions de dòlars el 2011 i Hewlett-Packard estima que arribi als 12.000 milions el 2017, basat en el creixement orgànic i en el desplegament continuat de la tecnologia actual. No obstant això, si se superen algunes barreres comercials i tecnològiques, altres fonts estimen que les vendes totals podrien arribar als 100.000 milions de dòlars el 2020. Hi ha segments que creixen a ritmes superiors al 30% anual.

Altres càlculs són encara més optimistes: el document *Industrie 2.0* del Govern francès (McKinsey, 2013) estima que pot arribar als 300.000 milions de dòlars (240.000 milions d'euros) el 2025. En termes de màquines, s'estima que al món n'hi ha 30.000 (2013)

que treballen el plàstic i que hi ha un potencial de creixement anual de dos dígits per a les que treballen el metall (500 el 2012) per als propers cinc anys.

Un estudi de la consultora Grassroots Research (Bovaird, 2011) estima que el percentatge de la indústria manufacturera que disposa d'equips de fabricació additiva era del 27% a Itàlia i de menys del 10% a França, Alemanya i Espanya, mentre que als Estats Units el percentatge variava segons el sector. Per al 2016, estima que el pes podria arribar al 38% a Itàlia, al 20% a Alemanya i al 13% a Espanya, mentre que seria més baix a França i difícil de preveure als Estats Units.

Aquestes expectatives no han despertat només l'interès de les empreses per participar en el negoci sinó també dels governs per tal de fer que aquesta tecnologia es desenvolupi en els seus territoris. L'estratègia *Horizon 2020* té com una de les seves prioritats la manufactura avançada (*Advanced Manufacturing*). En aquest marc, la plataforma europea MANUFUTURE va llançar l'associació sense ànim de lucre EFFRA (Factories of the Future Research Association) el 2009 amb l'objectiu de promoure la recerca en tecnologies de producció i això es va fer amb el compromís amb Factories of the Future (FoF), partenariat públic-privat amb la Unió Europea. FoF ha desenvolupat un full de ruta anomenat *Factories of the Future 2020* (EFFRA, 2012), el qual destaca la fabricació additiva com un procés clau de manufactura avançada, amb un gran ventall d'avantatges, entre els quals hi ha el seu potencial per donar suport a una manufactura sostenible mediambientalment. Així, els fons europeus han donat suport a nombrosos projectes de recerca en AM, com per exemple IMPALA (*Intelligent Manufacturing from Powder by Advanced Laser Lamination*).

Els Estats Units han creat el National Additive Manufacturing Innovation Institute (NAMI), amb l'ànim de promoure l'AM a la indústria per tal d'accelerar-la. Compta amb un pressupost de 40 milions de dòlars que s'afegeixen als 30 d'inversió federal.

Al Regne Unit, el UK Technology Strategy Board va engegar un *Special Interest Group in Additive Manufacturing* (SIG AM) per tal d'emprendre una anàlisi de necessitats d'innovació i entendre les necessitats de la indústria en aquest camp i explorar les possibilitats de donar suport a aquesta tecnologia al llarg de la seva cadena de valor. Fruit d'aquesta anàlisi es va redactar la *High Value Manufacturing Strategy 2012-2015*, on l'AM hi té un paper destacat.

A part, hi ha els *fab labs*, que van sorgir als Estats Units i s'han estès per tot el món. El seu origen es remunta a l'any 2000, quan la National Science Foundation va finançar una idea boja d'un professor del MIT, Neil Gershenfeld: un laboratori de fabricació digital amb màquines per construir-ho gairebé tot. Aquest taller va ser el germen del primer *fab lab* (*fabrication laboratory*) del món. Actualment n'hi ha 350 repartits en 50 països i amb 75 candidats a integrar-se a la xarxa. Un *fab lab* és bàsicament un espai que disposa d'unes màquines (com ara impressores 3D, talladores làser, impressores de circuits...) que permeten la fabricació digital a través del disseny en tres dimensions d'un objecte nou o que ja existeix mitjançant els programes de codi obert. És a dir, el seu fonament és el programari lliure i l'intercanvi d'informació i de coneixements. La idea és que el consumidor evolucioni cap a creador, de manera que no es pot anar a un *fab lab*, fer una comanda i marxar sinó que cal participar en el procés. Per exem-

ple, una persona pot anar a un *fab lab* i dissenyar-se i fabricar-se el seu mobiliari o produir-se objectes que hagin estat dissenyats a qualsevol part del món, cosa que redueix els costos al material, sense haver de pagar tots els marges dels intermediaris.

A Nova York, la incubadora *Shapeways* ha posat en marxa el 2014 un d'aquests laboratoris, anomenat *Factory of the Future*, que ocupa una superfície de 25.000 metres quadrats a Long Island City. Tindrà entre 30 i 50 impressores industrials en 3D d'alta definició per a què els seus usuaris creïn i imprimeixin productes nous en qüestió de pocs dies.

Hi ha països que han promocionat els *fab labs* amb estratègies *top-down* (Sud-àfrica), mentre que la majoria ho fan *bottom-up* (Bèlgica, Holanda, Estats Units), és a dir, que els laboratoris locals s'uneixen en una xarxa regional i després en una d'internacional, com la *International Fab Foundation*, que dóna suport a reptes més globals com proporcionar materials especialitzats a tot el món.

Barcelona és un dels focus més actius en la fabricació digital a escala mundial. El primer *fab lab* barceloní funciona des del 2007 i ara és un dels membres líders de la xarxa. També és la seu de la Fab Academy, un campus global dels laboratoris locals on els estudiants troben col·legues i mentors. L'Ajuntament està impulsant una xarxa de *fab labs* que s'anomenen *Ateneus de fabricació* i que es vol que n'hi hagi un a cada districte, amb l'objectiu addicional de fomentar l'emprenedoria i la creació d'ocupació. Makers of Barcelona és un altre *fab lab* d'iniciativa privada, ubicat a l'Eixample. S'està creant, doncs, un entorn favorable a les aplicacions de la impressió 3D i a la cultura del *Fes-t'ho tu mateix*, ja que a més dels *fab labs*, es compta amb centres de recerca com la Fundació CIM, LEITAT, ASCAMM, IQS, bones escoles i bones empreses de l'àmbit dels videojocs que poden transitar cap al domini de la impressió 3D.

També cal destacar la *Vanguard Initiative*, que compta amb el suport de la Unió Europea, i té l'objectiu d'avançar en el desenvolupament de la manufactura avançada a Europa a partir de la cooperació entre 21 regions. Catalunya forma part de l'equip de coordinació de la plataforma, que ja ha iniciat 3 projectes pilot. Un d'aquests projectes el lidera Catalunya, conjuntament amb Llombardia, amb l'objectiu de millorar l'eficiència de les fàbriques europees. El projecte, que s'està desenvolupant al Centre Tecnològic ASCAMM, està obert a la participació d'empreses catalanes. Un dels altres projectes pilot també compta amb la participació de Catalunya: tracta sobre la impressió 3D, i Catalunya hi està col·laborant compartint el coneixement adquirit els últims anys.

Catalunya té multitud d'agents relacionats amb les tecnologies de fabricació additiva i el *3D Printing*, cosa que podria afavorir un desenvolupament futur en aquests camps. Hi ha agents representats en el teixit industrial català en cadascun dels blocs següents:

- Companyies que ofereixen serveis de *3D Printing*. **Service Bureaux.**
- Companyies que dissenyen, desenvolupen, construeixen i venen equipaments per al *3D Printing* i l'*additive manufacturing*. **Original Equipment Manufacturers.**
- Companyies que manufacturen materials per ser processats amb tecnologies de *3D Printing*. **3D Printing Materials Manufacturers.**
- Companyies que dissenyen i desenvolupen programari relacionat amb aplicacions de *3D Printing*. **3D Printing Software Developers.**
- Companyies que dissenyen i fabriquen la totalitat dels seus productes amb tecnologies de *3D Printing*. **Business Model Based on 3D Printing.**
- Companyies que implementen el *3D Printing* per a la fabricació d'algun dels seus productes. **Production companies.**
- Organitzacions que fan R+D relacionada amb *additive manufacturing / 3D Printing*. **AM / 3D Printing R+D Centers.**
- Entitats que fan transferència de tecnologia, formació i consultoria en *additive manufacturing / 3D Printing*. **Training & Technology Transfer Organizations.**
- *Fab labs* i altres entitats que fan disseminació i formació en tecnologies d'*additive manufacturing / 3D Printing*. **Fablabs & other related entities.**
- Empreses de distribució, venda, reparació i manteniment d'equipament per a *additive manufacturing* i *3D Printing*. **Additive manufacturing & 3D Printing Vendors.**
- Associacions, clústers i plataformes tecnològiques relacionades amb *additive manufacturing / 3D Printing*. **Additive manufacturing / 3D Printing Associations, Clusters and Regional Technology Platforms.**

2. Efectes de la fabricació additiva (AM) sobre l'estructura de la producció

Atès que gairebé no hi ha economies d'escala a l'AM, la tecnologia és ideal per a produccions de poc volum o per a la personalització massiva de components acabats (milions d'implants dentals i audiòfons ja estan fets amb aquesta tecnologia). Alliberada de les restriccions de les fàbriques tradicionals, la fabricació additiva permet als dissenyadors fer coses que abans eren considerades massa complexes de produir de forma econòmica. Per exemple, permet fer d'un sol bloc peces que abans s'havien de produir per separat i ser muntades i reblades, amb el consegüent estalvi de temps. També estalvia materials ja que evita rebutjos, cosa que és important en materials cars com el titani.

Ferràs (2013) compara els efectes de l'AM amb el que va suposar la irrupció de la impressió digital fa 20 anys. Va transformar completament el sector en pocs anys, ja que el negoci de processat d'àtoms es va transformar en un de processat de bits. Veient el que va passar llavors amb la impressió 2D, es pot anticipar el que passarà amb la impressió 3D en el món de la fabricació. Intentant sintetitzar els efectes de l'AM sobre els models de negoci amb més detall, i recollint les aportacions de Ferràs (2013), Cohen (2014) i altres autors, es podrien destacar els elements següents:

- **Acceleració dels cicles de desenvolupament de producte:** des del principi, les impressores 3D s'han utilitzat per fer prototipat ràpid però ara es podria produir una segona onada d'acceleració del *time to market* a mesura que la línia entre fabricació convencional i additiva s'esvaeix (llançament de productes de prova per veure com els acull el consumidor, construcció més ràpida de les eines –per exemple, un motlle– per fer un producte...).
- **Augment de la fabricació additiva de béns finals:** així com el 2011 només el 25% del mercat d'AM estava relacionat amb la producció de béns finals, actualment, amb un 60% de creixement anual, aquest és el segment que més creix³. A mesura que els costos baixen i les capacitats augmenten, el rang de components que poden ser produïts per AM creix espectacularment, especialment aquells amb un alt cost de mà d'obra, amb requeriments complexos d'estampació, amb volums de producció reduïts, amb alta obsolescència o desgast.
- **Volatilització de les cadenes de valor:** per què distribuir si es pot enviar un arxiu digital i imprimir la peça o el producte a la seva destinació? Les cadenes de valor esdevindran més elàstiques, portant la manufactura més a prop del consumidor, en una mena de relocalització, si bé la indústria que "tornaria" als països més desenvolupats seria molt diferent de la que es va deslocalitzar en el seu dia.
- Com a conseqüència de l'aproximació de la manufactura als consumidors, hi haurà **menors requeriments de transport de productes acabats**, cosa que alterarà els fluxos de comerç internacional i farà gairebé desaparèixer els costos logístics.
- Els models econòmics que han aparegut al voltant de les Web els darrers anys per als béns immaterials (*crowdsourcing, peer-to-peer, open source*) s'estendran, probablement, al món físic, potser, fins i tot, amb **repercussions més profundes per a les empreses de béns de consum que les que van patir les companyies de mitjans de comunicació i culturals**. Per exemple, un article de *Le Monde* (Vaudano, 2013) es va fer ressò de la preocupació dels fabricants de joguines Lego i Playmobil per la vulneració de drets de propietat industrial que significaria la impressió a domicili d'aquests productes.
- La combinació de personalització massiva dels productes amb noves possibilitats de disseny **canviaran les regles de molts negocis**.
- A més, la reducció de costos que representa la impressió en 3D redueix les barreres d'entrada a **nous competidors** per a petits volums i nínxols. A llarg termini, els nous competidors poden deixar de servir nínxols per servir mercats d'alt volum.
- La fabricació additiva permet treballar sota comanda, **sense estocs**, cosa que implica una cadena de subministrament més eficient i amb menys risc. Per què tenir, per exemple, costosos engranatges per a rotors d'helicòpters en estoc si es poden imprimir quan es necessitin? Això tindrà implicacions financeres ja que alliberarà molts milions de dòlars en immobilitzats i implicacions en el servei postvenda, cosa que reduirà els grans serveis tècnics regionals.
- **Concentració de tot el valor en el disseny:** que en el cas físic és disseny, enginyeria i desenvolupament.
- **Fabricació totalment personalitzada (*customization*):** la impressió 3D permetrà l'adaptació total dels productes a les necessitats personals i demogràfiques, cosa que farà aparèixer nous models de comerç on el consumidor participi en el procés de disseny del producte. El comerç pot tenir petits tallers per fer, per exemple, joguines o materials de construcció adaptats als gustos del client.
- **Fabricació flexible, totalment *just-in-time* i amb qualitat absoluta:** aquest avantatge de la impressió 3D pot provocar la pràctica desaparició dels enginyers de procés, atès que el *joc està en el producte*. Això, junt amb l'aprofitament total dels materials utilitzats (enfront dels rebutjos que genera la tècnica sostractiva), generarà un increment de la productivitat.
- Alhora, els guanys de productivitat poden portar un efecte **substitució del factor treball per capital**, amb les repercussions socials que això comporta.

3 Terry Wohlers, citat a *The Economist* (abril 2012), estima que el 2020 el 80% del mercat d'AM serà per a béns finals, si bé mai assolirà el 100% atès que la construcció de prototips ràpids i barats seguirà sent una part rellevant del negoci.

- **Aportació a la sostenibilitat mediambiental:** l'aprofitament total dels materials utilitzats pot esperonar la formació d'una economia circular (aquella fonamentada en la recuperació de recursos materials, energètics i laborals). A més, en tractar-se de fabricar només allò que es necessita i no grans sèries de producció, el procés es pot cenyir als recursos estrictament necessaris.
- **Desaparició dels costos marginals i de les economies d'escala:** el cost marginal d'imprimir la peça enèsima serà igual a zero ja que només costarà el material a partir del qual es fabriqui. Una peça valdrà el mateix a Europa, Amèrica o la Xina. El seu valor el capturarà qui la dissenyi i només podran fer-ho indústries impregnades de coneixement (tecnologia, enginyeria de producte i de materials, sistemes d'informació i disseny industrial). IBM preveu que els costos d'imprimir en 3D cauran un 79% en els propers cinc anys i un 92% en la propera dècada. No obstant això, alguns experts (Reeves, 2013) afirmen que **sempre hi haurà lloc per a la producció a gran escala de components metàl·lics i polimèrics fets amb mètodes tradicionals**, si bé la tendència a productes personalitzats deixa un clar camp de negoci per a la fabricació additiva.
- Canvi de l'esquema inicial del model de negoci: si fins ara feien falta diners per portar una idea al camp de la producció industrial, la fabricació additiva **permet produir una idea a molt baix cost per tal d'obtenir el finançament** necessari per a la seva producció a gran escala.

ABANS:

Idea → Diners → Producció

ARA:

Idea → Producció → Diners

- **Desenvolupament de noves capacitats:** així com hi ha molt de coneixement acumulat en el disseny per a la fabricació convencional (que preveu, per exemple, les conseqüències que tindrà sobre el mecanitzat), encara no n'hi ha gaire en el disseny per a la fabricació additiva. A més, el treball amb plàstics està més evolucionat que el dels metalls o teixits vius, on encara hi ha molt per investigar.
- **Aportació al desenvolupament global:** la impressió 3D pot fer més accessible el desenvolupament dels països més endarrerits. Per exemple, un *fab lab* de Togo ha desenvolupat una impressora 3D a partir de residus electrònics, que reutilitza peces d'abocadors tecnològics i contribueix a la seva neteja. D'aquesta manera es genera una nova contribució a les economies domèstiques dels africans, les seves escoles i els cibercafès.

Tot això fa que s'hagin generat expectatives molt altes entorn del futur de l'AM, arribant a dir que serà un fenomen més gran que Internet, que es podrà imprimir qualsevol cosa o fins i tot que portarà a un nou ordre mundial. Alguns autors, com el Dr. Phil Reeves, consultor especialitzat en 3D, no obstant això, són crítics amb aquestes expectatives tan altes. També Janne Kyttänen, dissenyador de 3D Systems, afirma que igual com les màquines d'escriure no ens van fer a tots escriptors i que el Photoshop no

ens ha fet a tots dissenyadors gràfics, el programari 3D no ens farà a tots dissenyadors.

Tots aquests avantatges i efectes sobre l'estructura de la producció mundial, estima el McKinsey Global Institute (2013) tindrien un impacte de fins a 550.000 milions de dòlars anuals el 2025.

Reeves (2013) afirma que en l'actualitat, tots els vectors del negoci de la fabricació additiva estan alineats perquè tingui un desenvolupament important. De totes maneres, fa l'exercici de calcular, a tall d'exemple, quan serà factible la fabricació d'una rentadora en 3D i no ho preveu per abans del 2023. Recomana prendre seriosament l'AM per aquells negocis que estiguin relacionats amb manufactures d'alt valor i poc volum avui en dia i potser d'alt volum en el futur. Així mateix afirma que la impressió 3D domèstica i la fabricació additiva industrial cal considerar-les separades en l'actualitat però que convergiran en el futur. La seva conclusió final és que es tracta d'una evolució industrial més que no pas d'una revolució.

Un estudi fet per a IBM Global Business Services (Brody *et al.*, 2013) emmarca la impressió 3D en el que anomenen una nova cadena de subministrament digital (*new software-defined supply chain*), la qual ve definida per tres revolucions tecnològiques: impressió 3D, robòtica intel·ligent i *open source electronics*:

- **3D:** així com la fabricació tradicional es basa en l'estandardització, la impressió 3D facilita la personalització i elimina el sentit de la producció en massa per a certs productes.
- **Robòtica intel·ligent:** aquesta tecnologia revertirà la modularització en la qual es basa la indústria tradicional ja que els nous robots són més flexibles, es poden moure al llarg de la cadena de producció i adaptar-se a noves circumstàncies i productes. Per tant, ja no és tan necessari que els proveïdors aportin mòduls complexos a les cadenes de muntatge.
- **Open source electronics:** el programari lliure accelerarà la digitalització ja que permet la personalització del maquinari (*hardware*), una major eficiència en tenir accés a programari (*software*) de tot el món, una innovació més ràpida i amb aportació del consumidor, així com un comerç d'especificacions de disseny enlloc de productes acabats.

Aquestes tres tecnologies permetran, l'any 2022, una reducció al voltant del 90% en el volum mínim de producció d'una rentadora (en comparació amb el 2012) i una disminució del cost unitari de fabricació del 23%. En altres productes, els percentatges varien però són similars.

El contrapunt a la manufactura additiva i la impressió 3D són els potencials problemes que es generaran de propietat intel·lectual (còpies il·legals), de fiscalitat (tributació del consum col·laboratiu) i de seguretat del producte (reproduir aliments o joguines).

Les capacitats del maquinari d'impressió en 3D estan evolucionant ràpidament. Poden produir components més grans i assolir més precisió i resolució a velocitat cada cop més alta i un cost cada cop més reduït. Tot això ha fet que la tecnologia hagi arribat a un punt d'inflexió en el qual sembla sortir del seu nínxol per esdevenir una alternativa viable als processos de fabricació convencionals en un nombre més gran d'aplicacions.

3. Principals aplicacions i negocis

Les aplicacions de la fabricació additiva i els negocis que pot generar al seu voltant tot just estan començant i segurament n'hi ha molts que encara no s'han ni previst. Tot seguit s'exposen unes quantes d'aquestes aplicacions i negocis, per ordre alfabètic.

• Alimentació

– El març de 2014, la NASA va concedir una beca de 100.000 euros a Anjan Contractor, enginyer de l'empresa Systems and Materials Research Corporation (SMRC), per a què desenvolupi en sis mesos una impressora 3D capaç de reproduir aliments en els viatges tripulats a l'espai.

– Natural Machines, una *start-up* catalana, ha creat Foodini, la primera impressora 3D d'aliments preparada per imprimir tot tipus d'ingredients frescos i nutritius reals, salats o dolços, però no sòlids. És apta per a cuines domèstiques o professionals. Permet la personalització de les formes, però també és útil per portar un control nutricional d'una persona.

– Altres exemples d'impressores d'aliments són Candy, la ChefJet de 3D Systems i la nova F3D. El resultat de la impressió, però, s'ha de coure fora de la màquina. Només l'última pretén, a més d'imprimir-lo, també coure'l. Seria la primera en fer-ho.

• Àmbit domèstic

– Les impressores 3D industrials poden valdre entre els 15.000 dòlars i un milió, però també hi ha un mercat domèstic, amb màquines entre 500 i 1.400 dòlars, format per a investigadors, emprenedors, inventors, entusiastes de fer-se les coses ells mateixos, etc. Algunes impressores, fins i tot, poden ser construïdes a casa a partir de *kits* i utilitzen programari lliure.

– 3D Systems està llançant al mercat una impressora, anomenada *The Cube*, que pot fer coses com joguines, peces d'escacs o ornaments i val 1.299 dòlars. Compta amb una plataforma, anomenada *Cubify*, per proveir serveis a una comunitat d'usuaris. I si l'usuari vol una impressió de més qualitat pot utilitzar el servei d'impressió *on-line* de *Cubify*⁴.

– El contrapunt a aquest futur d'impressió domèstica el dona el fet que la tecnologia 3D, junt amb programari lliure, podria facilitar la impressió domèstica de pistoles o altres armes amb relativa facilitat. Això mostra el potencial d'aquesta tecnologia per crear dilemes ètics i reguladors i de distorsionar indústries.

• Aeronàutica

– Boeing utilitza impressores 3D per fer unes 200 peces per a 10 tipus d'aeronaus.

– Un F-18 conté més de 90 components impresos en 3D, com conduccions d'aire, més lleugeres i perfeccionades que les convencionals. La disminució de pes és un dels principals avantatges de l'AM ja que, en construir els objectes capa per capa, fa possible utilitzar el material just per a que el component funcioni.

– Airbus utilitza ja la fabricació additiva per produir components que formen part de la fabricació d'aeronaus.

– Segons investigadors d'EADS, components d'avions o satèl·lits construïts en 3D utilitzant pols de titani poden ser tan resistents com els mecanitzats però usen només un 10% de la matèria primera necessària amb el sistema tradicional.

– GE construirà el 20% dels components dels seus turboreactors per a avions comercials mitjançant fabricació additiva amb metalls.

• Automoció

– L'empresa britànica 3TRPD ha imprès en 3D una caixa de canvis per a cotxes de carreres amb un interior molt perfeccionat que permet canvis de marxa més ràpids i és un 30% més lleugera que les convencionals.

– La major part de fabricants i escuderies de F1 i moto GP utilitzen la fabricació additiva per a l'obtenció de components de disseny o prototips, d'eines de producció i de components finals embarcats en els seus vehicles.

– Algunes empreses i entitats de serveis a Catalunya com la Fundació CIM o Inneo, per posar alguns exemples, han col·laborat en la impressió 3D de maquetes per assaig en túnel de vent de vehicles de competició (SunRace), tubs d'admissió d'aire de la Fórmula Student i models per a l'obtenció de peces metàl·liques foses en alumini per a vehicles d'alta gamma i baixa producció.

– Les empreses d'automòbils de luxe utilitzen la impressió 3D per fabricar peces personalitzades d'alta qualitat al gust del client.

⁴ Euromold 2013, la fira anual de Frankfurt, ha estat escenari de més de 20 empreses fabricants d'impressores personals basades en tecnologies de Material Extrusion i Vat Polymerization, moltes d'elles presentant més d'un model diferent, amb preus oscil·lant entre 800 i 2.500 euros.

Cube és una més d'aquestes 40 o 50 propostes, la majoria alemanyes, que es van poder veure a Frankfurt.

És important destacar que a aquesta fira no hi pot anar tothom, la inscripció és cara i especialment per a aquest perfil d'empresa petita. Per això, alguns experts estimen que a Europa hi pot haver més de 100 petites empreses/entitats desenvolupant impressores 3D per a consum personal. Només a Catalunya n'hi ha tres.

- **Electrònica**

- La tecnologia 3D permet fer prototips de taules de circuit, incloent taulers flexibles, d'una forma més assequible i fàcil que la fabricació tradicional, com ho fan al *fab lab* de Tokio.
- La impressió 3D s'utilitza al LEITAT per al disseny, desenvolupament i producció de components electrònics passius: resistors, conductors, inductors, antenes, microscondensadors i microbateries, en l'àmbit del que es coneix com *Printed Electronics*.

- **Esports**

- En els Jocs Olímpics de 2012, l'equip japonès d'esgrima masculina va guanyar la medalla de plata amb unes armes amb mànecs fets a mida, per impressió 3D, pels investigadors de la Universitat de Tsukuba.
- Les escuderies de Moto GP i Fórmula 1 tenen la capacitat de dissenyar i fabricar peces específiques per a cada carrera d'acord amb les necessitats aerodinàmiques de cada circuit.

- **Il·luminació i objectes de decoració i mobiliari**

- Una de les primeres aplicacions de la fabricació additiva va ser precisament la fabricació de productes finals d'il·luminació. Empreses com Freedom of Creation o Future Factories van ser les pioneres. Avui en dia són centenars de petites empreses i dissenyadors els que produeixen els seus productes d'il·luminació, decoració i mobiliari mitjançant sistemes d'AM. A Catalunya, els pioners referents en aquest camp són les empreses de disseny GrowObjects, KX Designers i Cunicode.

- **Medicina i biologia**

- Materialise, una empresa belga d'aparells mèdics, fa implants, per exemple, més lleugers que els mecanitzats, sense pèrdua de duresa i dissenyats per adaptar-se de forma precisa al pacient.
- Avinent, del grup Vilardell Purí, de Santpedor, té una aliança tecnològica amb el grup internacional CORE3D que abraça totes les fases de l'elaboració de pròtesis dentals personalitzades en l'era digital: escanejar digitalment amb escàners introrals, dissenyar i produir amb tecnologia 3D i nous materials.
- No només els implants dentals o els aparells d'ortodòncia necessiten la personalització que facilita la impressió en 3D, sinó també altre tipus de pròtesis, com les auditives o d'extremitats. Al *fab lab* de San Diego han desenvolupat pròtesis personalitzades per a cames amputades per sota del genoll o mans amb dits articulats. Hi ha diverses empreses catalanes que ja hi treballen amb tecnologia pròpia i que exporten a tot el món (GAES, pròtesis auditives; PHIBO, pròtesis dentals; i INDO, ulleres).
- La Clínica Mayo fa servir models d'articulacions de maluc impreses en 3D per executar cirurgies de pràctica. Més tard, els models s'envien al fabricant el qual produeix implants personalitzats.

- General Electric ha desenvolupat amb AM components clau dels escàners, cosa que reduirà els costos i permetrà fer-ne de portàtils, no només per a aplicacions mèdiques sinó també per inspeccionar estructures de la indústria aeroespacial.

- La Fundació CIM ha reproduït un tumor en material tou, junt amb els ossos, artèries, etc. en material dur per tal de facilitar als cirurgians l'assaig d'una operació quirúrgica que, d'altra manera, hauria estat inviable.

- També la Fundació CIM ha imprès en 3D una mosca ampliada per tal de facilitar-ne la recerca.

- La col·laboració entre Elisava i LEITAT ha permès el disseny i la creació d'una pròtesi activa de mà de baix cost –menys de 700 euros, mentre que les actuals actives poden costar fins a 20.000–, com a solució a amputacions per sota de colze i que es produirà amb impressió 3D. Cada pròtesi produïda té les mides personalitzades del pacient que l'ha de rebre, reproduint exactament les dimensions de l'altra extremitat existent.

- A l'Institut de Bioenginyeria de Catalunya es fa enginyeria de teixits. Es fa una bastida en 3D per a què les cèl·lules creixin dins seu. Quan es retira la bastida, es té el teixit. Aquesta tècnica s'usa per exemple, per a la regeneració òssia. La tecnologia 3D permet bastides molt més precises que les fetes amb altres procediments.

- La tecnologia 3D permetrà en el futur fer modelatge, anàlisi i simulació de la resposta de cèl·lules i del comportament de creixement de teixits.

- **Maquinària**

- Replicator, un sistema robòtic de *rapid manufacturing* fet per Cybaman Technologies, una empresa britànica, és capaç de fer enginyeria inversa mitjançant l'escanejat digital d'un objecte per tal de fer-ne una rèplica exacta. Això permet imaginar que en el futur es pugui escanejar un producte i enviar les dades a l'altra punta del món per fer-ne una rèplica. O es poden replicar components que ja no es fabriquen, cosa que permet imaginar biblioteques virtuals futures amb les dades necessàries per replicar components o productes no disponibles. També es pot preveure que els serveis tècnics del futur tindran una impressora 3D a la furgoneta o que hi haurà comerços que ofereixin serveis d'impressió 3D de components i objectes.

- Si els motlles per a injecció seguiran sent el mode de producció per a les grans sèries, la fabricació dels motlles en si entra de ple en el camp de l'AM, cosa que permet escurçar el temps de producció i guanyar en qualitat, per exemple, formant circuits de refrigeració directament integrats en els motlles. Amb això s'espera una reducció de costos del 30% i una disminució de l'impacte ambiental.

- Molts sistemes de producció estan incorporant robòtica per automatitzar processos de muntatge on la velocitat és el factor més important. La impressió 3D ha revolucionat la fabricació dels manipuladors –*grippers*– que els robots incorporen per agafar els components que s'han de muntar gràcies a la

seva lleugeresa i versatilitat. L'empresa alemanya Festo ja ha posat al mercat una gran varietat de manipuladors actuats per aire comprimit aplicables a robots lleugers, de gran versatilitat i velocitat de treball.

- Moltes empreses estan fabricant els utilatges de muntatge, de manipulació, de comprovació i de transport en processos en línia mitjançant sistemes d'impressió 3D, dels quals Digital Mechanics i BMW en són pioners.
- Hi ha exemples de fabricants de maquinària que ja utilitzen la fabricació additiva per elaborar components no estàndards de les seves màquines, com per exemple, la firma Hettich.

- **Moda, joieria, calçat i complements**

- Aquests sectors industrials estan adoptant molt ràpidament les tecnologies d'impressió 3D per desenvolupar i produir els seus productes. D'entre ells, la joieria és, sens dubte, la que té un major nombre de productes al mercat fabricats amb impressió 3D o desenvolupats amb l'ajut d'aquestes tecnologies. A Catalunya, l'empresa pionera ha estat Tous.
- El dissenyador Janne Kyttanen ha creat un conjunt de sabates de dona que es poden imprimir a casa en una nit i calçar-les el dia següent. Així mateix, empreses com Continuum, Shapeways, Nervous, e-Materialise i Freedom of Creation, dels dissenyadors Iris Van Herpen, Neri Oxman, Lionel T. Dean i Michael Schmidt, ja facturen centenars de milers d'euros anualment només amb la venda dels seus dissenys de moda i complements fabricats amb impressió 3D.

- **Altres indústries**

- Es preveu una multiplicació de les possibilitats de personalització per a tota mena de productes de consum com ara joguines, confecció, calçat, accessoris, indústries creatives,

mobles i decoració⁵. A la indústria manufacturera, tots els objectes complexos produïts en petits volums i amb alts requeriments de personalització seran candidats naturals per ser fabricats amb AM. Pensem, per exemple, en materials de construcció personalitzats o singulars.

- L'empresa ThreeDee-You de Madrid realitza figures en miniatura de persones gràcies a la seva tecnologia d'escanejat i impressió 3D.

- Amazon ha engegat una botiga, per ara només als EUA, dedicada a petits objectes personalitzats (figuretes, bijuteria, fundes per al mòbil...). Amazon no imprimeix sinó que exerceix d'intermediària amb Sculpteo, la firma lúdica de 3D Systems.

- El món de la construcció ha utilitzat des de fa molts anys la impressió 3D per obtenir maquetes dels seus projectes. L'empresa Encaix, de Terrassa, n'és una de les pioneres. Avui els gabinets d'arquitectura i les constructores continuen utilitzant-la per a aquest propòsit, però també ha començat a despertar la indústria de la fabricació d'habitatges amb fabricació additiva.

- **Projectes artístics i singulars**

- A principis de 2002, el Centre CIM, actual Fundació CIM, va iniciar amb l'oficina tècnica de la Junta Constructora de la Sagrada Família l'obtenció de components per a les maquetes a diferents escales mitjançant impressió 3D. A partir d'aquell moment, la Junta ha anat incorporant diferents impressores 3D a la seu de la seva oficina tècnica.

- Són nombrosos els artistes de renom internacional que implementen les seves creacions mitjançant impressió 3D. Entre ells, Bathsheba Grossman, Neri Oxman, Michael Hansmeyer and Benjamin Dillenburger o Eric Van Straaten.

⁵ A l'AtFAB, un *fab lab* dels EUA, hi ha una línia de mobles de fabricació amb màquines de control numèric de codi obert i personalitzats paramètricament.

Al *fab lab* de Barcelona s'ha desenvolupat un *skateboard* personalitzat.

A un *fab lab* del Japó s'ha desenvolupat un mètode per fabricar sabatilles personalitzades.

4. Resum i conclusions

La impressió en tres dimensions (*3D printing*) és el procés d'unir materials per fer objectes a partir d'un model digital, normalment posant una capa a sobre d'una altra. Si s'aplica a tecnologies de producció i a cadenes de subministrament, se sol utilitzar el terme fabricació additiva.

Aquesta tecnologia existeix des de fa 30 anys i va trobar aplicació immediata en el prototipat ràpid. Després es va ampliar cap a l'elaboració de patrons de fosa, la fabricació d'eines i l'obtenció de peces de producció. Actualment, es troba en un punt de maduració que podria representar la seva extensió massiva al sistema productiu, gràcies al venciment de les patents, la disminució de preus dels equips i l'evolució del coneixement associat a aquesta tecnologia i als nous materials.

No hi ha acord a l'hora de preveure si l'evolució futura de la fabricació additiva serà més o menys expansiva, si es tracta d'una evolució o d'una revolució, i molt menys a l'hora de valorar-ne l'impacte, però el que sí està clar és que es tracta d'una tecnologia que anirà a més, que cada cop troba més aplicacions en el camp industrial i contínuament genera nous models de negoci. És especialment recomanable per a aquelles indústries que estiguin relacionades amb manufactures d'alt valor i poc volum i/o amb una geometria complexa i/o que tenen un component elevat de personalització. No obstant això, sempre hi haurà lloc per a la producció a gran escala mitjançant les tecnologies no additives més convencionals.

Els efectes de la difusió de la fabricació additiva són molts i diversos, com s'ha vist al capítol 2, i d'entre les conseqüències cal destacar-ne un increment de la productivitat, un menor impacte ambiental i una nova ordenació de les cadenes de valor.

El fenomen ha despertat l'interès de les empreses i també dels governs, entre els quals destaquen la Comissió Europea, els Estats Units i el Regne Unit, amb sengles polítiques de suport. Per la seva banda, Barcelona destaca com un dels focus més actius en la fabricació digital, amb la seva xarxa de *fab labs*.

De tot el que gira al voltant de la fabricació additiva, sembla que la generació de valor no radica tant en la fabricació de maquinari, que es preveu que es faci de forma massiva per part de multinacionals estrangeres, com en el disseny d'aplicacions, la creació de nous programaris i la formulació de nous materials i dels seus processos de consolidació. També tindrà un gran potencial de generació de valor el desenvolupament de tecnologies de postprocessat i d'acabats superficials de les peces fabricades mitjançant impressió 3D.

A Catalunya es disposa d'una base industrial que pot fer front a desenvolupaments i treure'n profit econòmic en tots aquests camps: fabricants de béns d'equipament, empreses de desenvolupament de programari, empreses fabricants de materials (polimèrics, ceràmics, metàl·lics i compòsits), empreses amb capacitat de disseny i de desenvolupament d'aplicacions. A més, es compta amb el recolzament, el coneixement i l'experiència de diverses entitats de recerca (centres tecnològics i universitats) que estan treballant en la fabricació additiva des de fa anys.

5. Agraïments

Els autors volen expressar el seu agraïment a totes les persones que, amb la seva col·laboració, han contribuït a realitzar-lo. Tanmateix, la responsabilitat dels errors que pugui contenir aquest document corresponen exclusivament als seus autors.

- Jaume Baró, de l'Ajuntament de Barcelona
- Joan Comas, d'ACCIÓ
- Felip Esteve, d'ASERM
- Magí Galindo, del LEITAT
- David Marco, d'ACCIÓ
- Laia Portell, d'ACCIÓ
- Guillermo Reyes, de l'IQS
- Mariona Sanz, d'ACCIÓ

6. Bibliografia

- AM PLATFORM (2013): *Additive Manufacturing: Strategic Research Agenda*. Manufuture Technology Platform.
- BLANCO, R. I FONTRODONA, J. (2014): *Relocalització industrial a Catalunya*. Memòria Econòmica de Catalunya 2013. Consell General de Cambres de Catalunya.
- BOURELL, David *et al.* (2009): *Roadmap for Additive Manufacturing*. University of Texas, Laboratory for Freeform Fabrication Advanced Manufacturing Center.
- BOVAIRD, Anne (2011): *Demand for Additive Manufacturing Printers in the U.S. and Europe*. Grassroots Research, 6 de juliol de 2011.
- BRODY, Paul *et al.* (2013): *The new software-defined supply chain*. IBM Institute for Business Value.
- COHEN, Daniel *et al.* (2014): *3D Printing takes shape*. McKinsey Quarterly, 1-2014.
- EFFRA (2012): *Factories of the Future 2020*, a <http://www.effra.eu/>
- FERRÀS, Xavier (2013): *Impresión 3D, Revolución en Manufacturing. Innovación 6.0*. <http://xavierferras.blogspot.com.es/>
- MARTIN, Javier (2013): *La NASA quiere imprimir comida*. El País de 22 de maig de 2013.
- McKINSEY (2013): *Industrie 2.0, Jouer la rupture pour une Renaissance de l'industrie française*.
- REEVES, Phil (2013): *3D Printing – Hyperbolic or Exponential – The real growth potential of 3D Printing*. Econolyst. Conferència del 7 d'octubre de 2013.
- SPECIAL INTEREST GROUP – ADDITIVE MANUFACTURING (2012): *Shaping our national competency in additive manufacturing*. Govern britànic.
- THE ECONOMIST (2012): *Special report – Manufacturing and innovation*. 21 d'abril de 2012.
- VAUDANO, Maxime (2013): *Imprimer Playmobil et Lego chez soi: bientôt possible?*. Le Monde del 14 de desembre de 2013.

