

OIKONOMICS

Revista d'economia, empresa i societat

NOUS PARADIGMES DE PRODUCCIÓ

Fabricació additiva i transformació logística: la impressió 3D

José López Parada

Professor col·laborador dels Estudis d'Economia i Empresa (UOC)

RESUM La fabricació additiva, duta a terme mitjançant processos d'impressió 3D, ha adquirit gran importància en alguns sectors de la indústria. Aquesta tecnologia, que de fet compta amb plans de recerca i innovació sòlids, pot, gràcies als seus avantatges per sobre les tècniques de producció convencionals, reduir enormement la complexitat actual en els processos de fabricació i en les activitats logístiques en cadascuna de les baules de la cadena de subministrament.

PARAULES CLAU fabricació additiva; impressió 3D; cadena de valor; cadena de subministrament, transformació logística

Additive manufacturing and logistics transformation: the evolution and impact of 3D printing

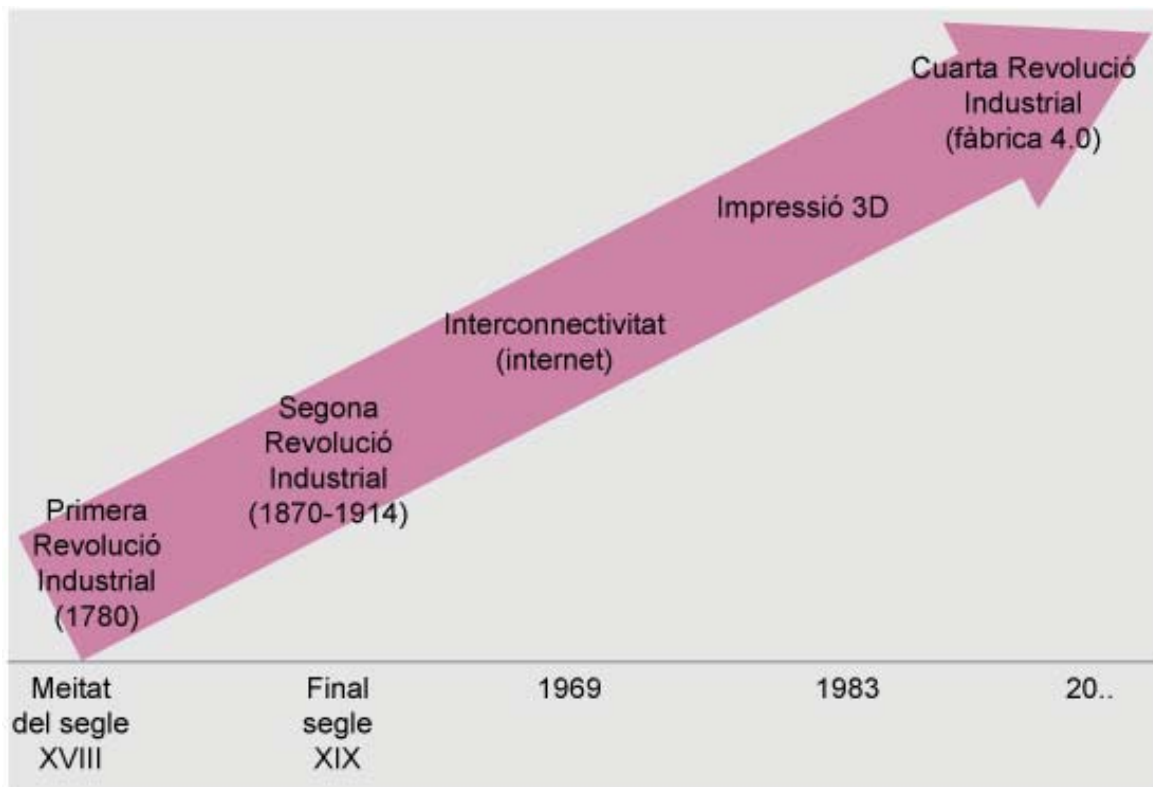
ABSTRACT *Additive manufacturing, performed by 3D printing processes, has gained great importance in certain industrial sectors. Now the subject of significant research and innovation plans, This technology can drastically reduce the current complexity involved in manufacturing processes, with additional advantages over conventional production techniques, as well as in the existing logistics operations at each stage of the supply chain.*

KEYWORDS *additive manufacturing; 3D printing; value chain; supply chain; logistic transformation*

Introducció

Al llarg de la història, la indústria ha sofert grans revolucions. Al final del segle XVIII, la màquina de vapor va engegar la primera; un segle després, la disponibilitat d'energia elèctrica va posar en marxa la segona; la tercera va aparèixer a mitjan segle XX amb l'arribada de l'electrònica i la interconnectivitat que oferia Internet, i en els últims anys, s'està iniciant un procés en el qual seran els robots integrats els responsables d'una transformació radical que s'ha denominat quarta revolució industrial.

Figura 1. Revolucions en la indústria al llarg del temps



Font: elaboració pròpia.

La importància d'aquest tema és tal que ha estat àmpliament tractat a la reunió del World Economic Forum 2018 que se celebra a Davos.

Vivim en un món on hi ha una evolució tecnològica permanent i on constantment apareixen noves tecnologies: connectivitat mòbil, Internet de les coses (IoT), robòtica amb intel·ligència artificial, així com impressió 3D, materials avançats, en-

ginyeria genètica, nanotecnologies..., que, combinades i connectades, transformaran els sistemes de producció amb una velocitat i un abast sense precedents.

En aquest article s'analitza la transformació logística de la fabricació 3D. Es comença presentant aquest nou paradigma del procés productiu i se segueix amb la descripció de la situació actual d'aquesta tecnologia, de la seva evolució i, finalment, es mostra com es materialitzaran seus els impactes en canvis en les cadenes de valor i de subministrament de les empreses.

1. Nous paradigmes en producció: la fabricació additiva

La primera pregunta que ens hem de fer és: què és la fabricació additiva? La fabricació additiva (en anglès, *additive manufacturing*), també denominada fabricació per addició, és un nou concepte que fusiona la producció en sèrie i l'artesanal i que transforma la cadena de subministrament i la cadena de valor, la qual cosa implica que la utilització potencial d'aquest model productiu afectarà de manera important la logística empresarial.

Aquesta tècnica, coneguda comunament com a «impressió 3D», pot definir-se com un procés a través del qual el material, que pot ser plàstic o metall, serà dipositat mitjançant capes controladament en els punts en què aquest és necessari. D'aquesta manera es fabriquen objectes amb formes geomètriques personalitzades segons les necessitats dels clients.

Si es compara amb les tècniques de fabricació tradicionals, aquesta tecnologia modifica el concepte de fabricació, que passa de tallar o modelar les formes reduint o eliminant materials, a combinar matèries primeres de manera precisa i versàtil. A més, en utilitzar únicament el material necessari per a la fabricació de la peça en qüestió, no es generen residus, els components tenen un cost menor i es produeix de manera més sostenible.

Com treballa exactament la fabricació additiva? Pot desglossar-se en cinc processos bàsics:

1. El primer pas és crear un model 3D de l'objecte que es desitja imprimir. Aquest model es du a terme mitjançant un programari de disseny (CAD) o mitjançant tècniques d'enginyeria inversa, amb un escaneig de l'objecte.
2. El fitxer CAD es converteix en un format que defineixi la geometria d'objectes 3D (generalment un format Standard Triangle Language). L'arxiu es divideix digitalment en capes.
3. La tercera etapa requereix la transferència de l'arxiu STL i la configuració de la màquina. Per imprimir de manera econòmica, es a dir, per maximitzar l'estalvi de costos i reduir el desaprofitament de material, ha de verificar-se que la gran-

dària de l'objecte i el seu posicionament en la plataforma de construcció siguin adequats. Normalment, s'imprimeixen diverses parts d'una sola vegada.

4. En el quart pas, la màquina, que únicament està controlada per l'ordinador, construeix el model capa a capa. El gruix de cada capa determina la qualitat final i depèn de la màquina i del procés.
5. Un cop construïda la peça i passat el període de refredament i seguretat, el model es pot treure de la màquina. Poden caldre processos addicionals, com la neteja, el poliment, la pintura i l'acabat de la superfície segons l'estàndard desitjat. Això pot implicar l'ús d'altres màquines i eines.

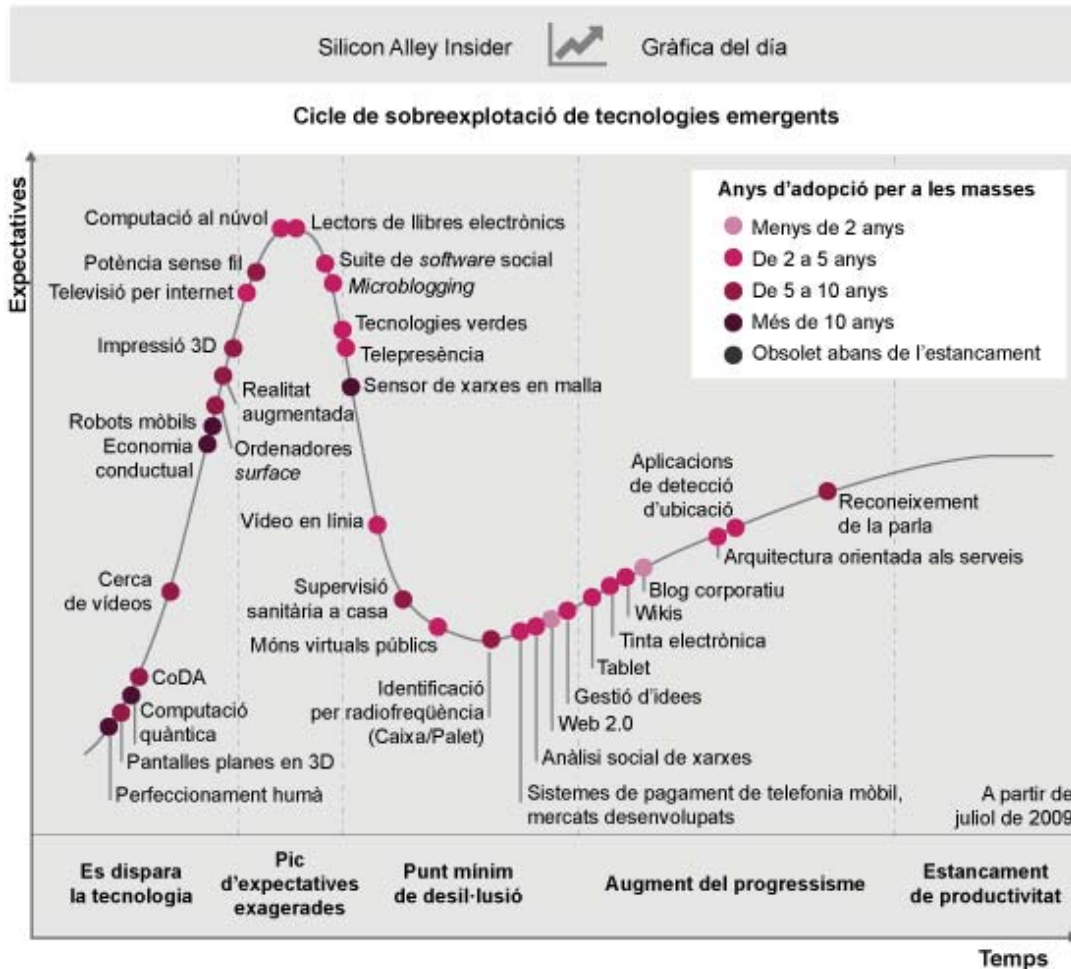
Alguns avantatges que ofereix el model de fabricació additiva:

- Major capacitat de disseny. La tecnologia permet que els assemblatges puguin imprimir-se en un procés i que es puguin produir fàcilment les formes orgàniques, la qual cosa redueix o elimina les limitacions tradicionals de fabricació.
- A diferència de moltes tècniques de fabricació àmpliament utilitzades, com el model per injecció, no es requereixen eines.
- La fabricació es pot dur a terme a qualsevol lloc. Les peces poden enviar-se digitalment i imprimir-se en les llars o en llocs propers als consumidors, la qual cosa redueix la dependència del transport.
- En comparació amb les tècniques convencionals amb més limitacions geomètriques, la fabricació additiva pot produir models molt ràpidament, en hores.
- Calen menys recursos per a les màquines i menys mà d'obra qualificada, en comparació de la fabricació convencional.
- El producte es personalitza. Això és de gran importància en el sector mèdic, on les peces es poden produir directament per al pacient i les seves necessitats individuals.
- El material s'usa eficientment a causa de la producció exacta de peces i de la no sobreproducció en funció de la demanda prevista.
- S'obtenen un avantatge comercial i una competitivitat més grans, ja que el temps de desenvolupament, des del concepte del producte fins a la fabricació del mateix, es redueix al mínim i això suposa uns costos menors. D'altra banda, la major part del cost és variable, de manera que no s'obtenen economies d'escala.
- En coincidir el material requerit amb el material utilitzat, podem parlar de major eficiència material. El material de suport i la pols sovint es poden reciclar i tornar al sistema.
- Les emissions derivades del transport es redueixen a causa de la proximitat de fabricació, la qual cosa comporta beneficis ambientals.
- Amb un nombre cada vegada major de màquines, la impressió 3D és cada vegada més assequible, mentre que les màquines de model per injecció segueixen sent relativament cares i inaccessibles.

2. Situació actual de la tecnologia d'impressió 3D

Hi ha una coneguda corba de maduració tecnològica denominada *Gartner Hype Cycle* que detalla les fases per les quals passa l'adopció d'una tecnologia emergent. En aquesta corba pot trobar-se un punt de referència, que ajuda a determinar el futur de la indústria de la impressió en 3D.

Figura 2. Cicle de sobreexpectació de les tecnologies emergents



Font: Jeff McNeil https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGartner_Hype_Cycle_for_Emerging_Technologies.gif

En els inicis, el detonant pot ser un avenç tecnològic o una necessitat de mercat. A mesura que es fa publicitat sobre el tema, es genera un excés d'entusiasme que es materialitza en expectatives poc realistes, i encara que poden haver-hi algunes empreses d'èxit que utilitzin la tecnologia, no es tracta d'un model generalitzat.

L'hype continua creixent fins a excedir les seves pròpies capacitats i els beneficis d'aquesta jove però prometedora tecnologia. Això, al seu torn, crea un «estat de desil·lusió» en el qual els potencials usuaris descarten la tecnologia perquè no ha estat a l'altura de les expectatives del mercat. Un cop s'ha passat per aquest

abisme de desil·lusió i les expectatives es restableixen perquè coincideixin amb la realitat, la tecnologia pot convertir-se en una solució convencional.

La maduració de la impressió 3D s'ajusta a la descripció d'aquest. Concebuda per formar productes capa per capa enlloc de mecanitzar un bloc de matèria primera o realitzar peces mitjançant motlle, la impressió 3D ha permès la realització ràpida de prototips.

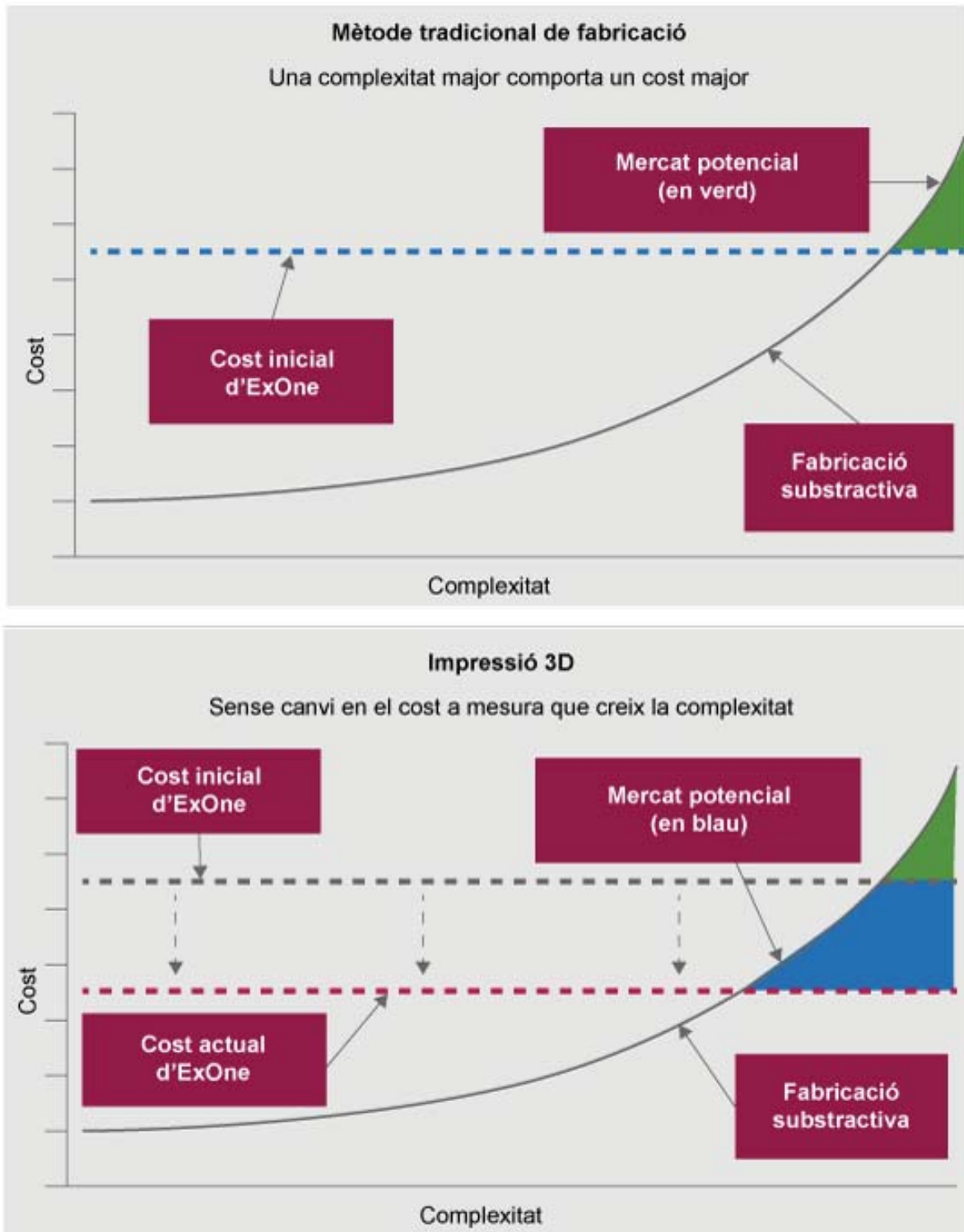
La tecnologia 3D va néixer la dècada dels 80 i va viure en relativa foscor, allotjada úniament en laboratoris de R+D i en tallers de treball durant gairebé tres dècades. Més endavant, el 2014, va començar a desenvolupar-se més intensament, sobretot en el sector mèdic. També en aquests anys van començar a acabar-se els terminis de protecció de les patents dels processos originals d'impressió, la qual cosa va permetre que arribessin al mercat versions més petites i lleugeres de màquines industrials, a un preu acceptable per al consum. Així, van començar a sorgir experiències d'implants mèdics personalitzats i petites peces en diversos àmbits professionals fets amb equips de preu reduït (menys de 1.500 €). No obstant això, les expectatives no van ser tan brillants com s'esperava i el mercat va patir un procés d'estancament.

Actualment, hi ha una nova perspectiva sobre les possibilitats que ofereix la tecnologia 3D en aplicacions comercials i industrials, i recupera un nou impuls gràcies a grans corporacions com a General Electric (impressora làser més gran del món per a impressió mitjançant pols de metall) i HP (equips per a entorns de fabricació a escala industrial), que estan duent a terme grans inversions en el desenvolupament de noves solucions. En pocs mesos pot generalitzar-se la impressió de metalls.

Un aspecte a tenir molt en compte és l'actual nivell de confiança, que es veu materialitzat en el fet que les empreses emergents (*startup*) d'impressió 3D estan obtenint valoracions molt positives de la comunitat d'empreses de capital de risc i, encara més important, les empreses manufactureres de diferents magnituds estan atentes a l'evolució tecnològica d'aquestes solucions i les integren en els seus plans estratègics futurs.

En la situació actual es pot observar una tendència clau al mercat: la capacitat d'obtenir volums importants de producció amb costos acceptables. A la figura 3 es poden veure els gràfics d'un estudi que compara els costos unitaris segons la tecnologia utilitzada, la qual cosa determinarà si realment aquests equips formaran part de la quarta revolució industrial. Els processos productius necessiten més velocitat, precisió i confiabilitat, i l'anunci de noves ofertes promet, com a mínim, una velocitat de procés que permetrà competir amb el modelat d'uretà i per injecció.

Figura 3. Comparativa entre dos models



El cost de la màquina per polzada cúbica s'ha reduït un 95% la darrera dècada
Els costos per unitat reduïts expandeixen el mercat potencial d'ExOne dràsticament

Font: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3dvstra.png>

Recentment, HP Development Company, L.P. ha entrat al mercat amb una línia d'impressores denominades «HP Jet Fusion», que, per primera vegada, imprimeix parts funcionals al nivell de vòxels¹ individuals i que prometen velocitats deu vegades més ràpides que les tecnologies d'impressió de nailon establertes, com l'extrusió i la sinterització làser. Carbon Inc., una startup recolzada per uns pocs centenars de milions de dòlars de capital de risc de Silicon Valley, també té la línia «Carbon SpeedCell™», que afirma que pot imprimir amb velocitats d'impressió cent vegades més grans que les de les impressores de resina existents, i ha declarat públicament les seves intencions de desplaçar el model per injecció amb la seva tecnologia. Altres companyies estan seguint per aquest camí. Entre altres, Stratasys, Ltd.; 3D Systems, Inc; EnvisionTEC Inc.; Ricoh Company Ltd., i Renishaw plc.

3. Evolució de la tecnologia 3D

La impressió en 4 dimensions, també coneguda com bioimpressió 4D, origami² actiu o sistema shape-morphing, actualment es troba en període inicial d'innovació (vegeu figura 2). Aquesta tecnologia utilitza les mateixes tècniques d'impressió 3D, però la impressió 4D hi afegeix la dimensió de la transformació en el temps de l'objecte.

És, per tant, un tipus de matèria programable que, després del procés de fabricació, el producte imprès reacciona a paràmetres del seu entorn (humitat, temperatura, etc.), que fan que canviï la seva forma. Aquesta capacitat de transformació de l'objecte sorgeix de les configuracions gairebé infinites a partir d'una resolució micromètrica que crea sòlids amb distribucions espacials moleculars d'alta enginyeria, la qual cosa permet un alt rendiment multifuncional. Aquest tipus de formacions estructurals no són noves: el coneixement actual ja ha demostrat propietats de «memòria» i «material intel·ligent». Una de les tecnologies més populars es coneix com l'aliatge de memòria de forma, on un canvi de temperatura desencadena un canvi de forma. Altres enfocaments utilitzen polímers electroactius, fluids o gasos pressuritzats, estímuls químics i fins i tot resposta a la llum.

-
1. Aquest terme s'utilitza en el modelatge tridimensional, i defineix la part distingible més petita d'un espai tridimensional. Cada vòxel, en particular, vindrà identificat per les coordenades d'X, Y i Z d'una de les seves vuit cantonades o del seu centre. La paraula vòxel està basada en una contracció de la veu VOLUM (vox) i d'ELEMENT (el).
 2. L'origami o papiroflexia és un art que consisteix en el plegat de paper sense usar tisores ni cola per obtenir figures de formes variades, moltes de les quals podrien considerar-se escultures de paper.

La impressió 4D és un avenç relativament nou a la tecnologia de la biofabricació, que emergeix ràpidament com un nou paradigma en disciplines com la bioingenieria, la ciència dels materials, la química i les ciències de la computació.

4. Principals impactes de la impressió 3D en la cadena de subministrament

Gràcies als avantatges addicionals de què gaudeix respecte de les tècniques de producció convencionals, la impressió 3D pot reduir enormement la complexitat en els processos de fabricació i en les activitats logístiques de cadascuna de les empreses que configuren la cadena de subministrament. A dia d'avui, el seu major potencial radica en la capacitat per simplificar la producció de productes i components complexos i personalitzables. Això obliga a redefinir el procés tradicional de fabricació i subministrament.

Les empreses han d'analitzar i avaluar si els processos d'impressió 3D poden ser utilitzats en la seva cadena de valor i en la cadena de subministrament, però atès que la impressió 3D implica un ràpid desenvolupament tecnològic, les inversions actuals seran obsoletes en pocs anys. Per això, té sentit iniciar instal·lacions pilot en l'obtenció de productes selectes i avançar posteriorment cap a implantacions a escala completa, tenint en compte els recursos i les capacitats que calen per obtenir «la fàbrica digital», més basada en actius lògics (programari) que en actius físics (utillatges, motlles, eines...), i per tant molt més configurable, adaptable i flexible.

En aquest àmbit, podem incloure també les empreses que treballen mitjançant estratègies de *postponement*,³ que permeten un grau més alt en la personalització del producte, cosa que té gran importància tant per als clients industrials com per als consumidors. En retardar l'assemblatge final el més aprop possible del punt de demanda, les empreses poden oferir als clients accés a una àmplia varietat d'opcions de personalització, per exemple, la selecció d'aspectes del disseny, del material, de la forma, la grandària, l'embalatge i de funcionalitats del producte.

Una de les coses que també té gran importància en les empreses actuals són les peces de recanvi, relacionades especialment amb els serveis postvenda. En l'actualitat, milers de magatzems estan ocupats amb aquestes peces que donen servei a una gran diversitat de productes. Encara que aquests magatzems tenen un gran volum de moviments, hi ha molts articles que rarament es necessiten (al-

-
3. Estratègia empresarial que es basa en el retard d'algunes de les activitats de la cadena de subministrament fins que la demanda del client es concreti. D'aquesta manera s'aconsegueix un major control de costos i una velocitat de resposta més gran a aquesta demanda.

guns estudis estimen que l'excés d'existències pot estar entre el 20% i el 25%). Això, a més de generar un cost, fa que la cadena sigui molt ineficient. Una de les solucions que ofereix aquesta tecnologia és que les empreses no emmagatzemin físicament les peces de recanvi sinó que aquests components s'imprimeixin sota demanda allà on calgui, cosa que permetria una àmplia cobertura, una major disponibilitat i un temps de lliurament més curt, que es traduiria també en una major satisfacció per al client.

En l'àmbit de la logística inversa apareixen altres avantatges. Es generaran processos amb un desaprofitament nul, ja que només es consumiran el material estrictament necessari i l'energia imprescindible per a la fabricació d'aquests productes. Això reduirà els residus generats i, òbviament, farà que es redueixin les necessitats de transport i, per tant, les emissions de CO₂.

Alguns exemples actuals d'ús de la impressió 3D en la indústria permeten plasmar les possibilitats d'aquesta tecnologia. El Grup BMW utilitza aquesta tecnologia per a la «optimització de topologia amb impressió 3D, que dona als enginyers una llibertat molt més gran en la cerca de solucions innovadores i creatives per al disseny de l'automòbil». Un altre exemple és el cas de l'empresa Airbus, que el setembre de l'any passat va anunciar la seva «primera peça de titani impresa en 3D instal·lada en un avió de producció en sèrie». Finalment, tenim l'exemple de la companyia naviliera Maersk Line⁴ que ha equipat als seus bucs de càrrega amb impressores 3D per poder produir a bord qualsevol peça de recanvi que es pugui necessitar durant la travessia.

A més, en el cas dels operadors logístics, es genera l'avantatge de poder aconseguir economies d'escala mitjançant la creació d'una xarxa pròpia de serveis d'impressió 3D localitzada en magatzems i centres de distribució d'àmbit global, que actuen com petits centres de fabricació (*fabshop*), de manera que les empreses podren encarregar als seus proveïdors logístics la impressió i el lliurament de les comandes dels seus clients. En aquesta línia, Amazon⁵ està en procés de petició d'una patent per poder accelerar el repartiment de comandes utilitzant camions de missatgeria equipats amb impressores 3D que durant la ruta imprimeixen els productes segons els demanen els clients.

Malgrat els grans avantatges exposats en aquest article sobre la tecnologia 3D, també cal considerar-ne certes limitacions. Una d'elles és la grandària de les peces, que va en funció del volum dels equips. Una altra limitació és el temps de

4. LNG World Shipping, Maersk and others trial 3D printing on vessels, drilling platforms (15/12/17).

5. Wall Street Journal (When Drones aren't Enough, Amazon envisions Trucks with 3D Printers) (26/02/2015).

fabricació, ja que, a més del necessari en màquina, cal un temps de refredament de la peça a causa de l'alta temperatura en la qual s'efectua la impressió. Finalment, cal esmentar el preu elevat de les impressores (entre els 150.000 i els 1,5 milions d'euros), a més del cost dels materials, que són entre 4 i 100 vegades més cars que en els processos tradicionals.

Conclusions

Del que s'ha exposat en aquest article, es deriva que l'ús de la impressió 3D ha adquirit importància en alguns sectors de la indústria i que aquesta tècnica compta amb forts plans d'innovació tecnològica. El mercat d'aquestes solucions 3D creixerà ràpidament en els propers anys, però malgrat aquest creixement, no es preveu que aquesta producció substitueixi a la producció en massa, sinó que més aviat es convertirà en un procés complementari. El que sí que farà és obligar, partint de la simplificació, a redefinir les actuals estratègies de fabricació i de la cadena de subministrament de les empreses.

Referències bibliogràfiques

- BANDYOPADHYAY, A.; BOSE, S. (2015). *Additive Manufacturing*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- CHUA, C.K.; LEONG, K.F. (2014). *3D Printing and Additive Manufacturing*. Singapur: World Scientific Publishing.
- PANETTA, K. (2018). Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. *Gartner* [article en línia]. <<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>> [Data de consulta 08/01/2018].
- GEBHARDT, A. (2012). *Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications.
- LIPSON, H.; KURMAN, M. (2015). *La revolución de la impresión 3D*. Madrid: Anaya.
- SCHWAB, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Madrid: Debate.
- WORLD ECONOMIC FORUM (2018). *Cuarta revolución industrial*. <<https://www.weforum.org/es/agenda/archive/fourth-industrial-revolution/>> [Data de consulta 25/01/2018].



José López Parada

jlopezpar@uoc.edu

Professor col·laborador dels Estudis d'Economia i Empresa (UOC)

Doctor per la Universitat de Barcelona, llicenciat en Ciències Econòmiques i Empresariales, enginyer Industrial per la UPC, diplomad per l'IESE. Professor col·laborador dels Estudis d'Economia i Empresa, UOC. Exprofessor del Departament d'Empresa de la Facultat d'Economia i Empresa de la Universitat de Barcelona. Exprofessor del grau d'Enginyeria d'Organització Industrial de l'Escola Universitària Salesiana de Sarrià, adscrita a la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha realitzat tasques directives, entre d'altres, en les següents empreses: Softmatic (*managing director*), Digital Equipment Corporation (director de projectes d'alt risc) i grup Philips (director d'organització).

Els textos publicats en aquesta revista estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement 3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los, comunicar-los públicament i fer-ne obris derivades sempre que reconegueu els crèdits dels obris (autoria, nom de la revista, institució editora) de la manera especificada pels autors o per la revista. La llicència completa és pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/deed.ca>.

