

## LA FABRICACIÓN ADITIVA, TECNOLOGÍA AVANZADA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS

Manuel Zahera  
*Fundación Cotec*

### Abstract

Additive Manufacturing Manufacturing (AM) is essentially a micrometer scale material handling and depositing very precisely to build a solid. Although novel, the additive manufacturing technologies are very diverse, and they represents a new industrial revolution. This article covers the highlights of AM, explains the fundamental concepts to understand the technology, describes the advantages over conventional manufacturing processes and the challenges yet to overcome to achieve their successful application in many sectors. AM technologies represent a turnabout on the processes of construction of parts currently being used as it passes manufactured by controlled deposition of material, layer by layer, providing only where needed, to obtain the final geometry is aims, rather than starting material (machining, stamping) or conform with the help of tools and molds (molding, injection, folding). This means unprecedented opportunities for designers and product development and parts of all kinds with relevant applications in all sectors: aerospace, automotive, jewelry, manufacturing in general, medicine, molds, etc.

**Keywords:** *Additive Manufacturing; product design; product development*

### Resumen

La Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing* (AM) consistente en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido. Aunque novedosas, son muy diversas las tecnologías que permiten fabricar piezas por este principio, lo que supone una nueva revolución industrial. En este artículo se recogen los aspectos más destacables del AM, se explican los conceptos fundamentales para entender esta tecnología, se describen las ventajas frente a procesos convencionales de fabricación y también los retos que aún debe superar para conseguir su aplicación exitosa en múltiples sectores. Las tecnologías AM suponen un giro copernicano respecto a los procesos de construcción de piezas empleados hasta ese momento, ya que se pasa a fabricar por deposición controlada de material, capa a capa, aportando exclusivamente allí donde es necesario, hasta conseguir la geometría final que se persigue, en lugar de arrancar material (mecanizado, troquelado) o conformar con ayuda de utillajes y moldes (fundición, inyección, plegado). Esto supone unas posibilidades sin precedentes para los diseñadores y para el desarrollo de productos y de piezas de todo tipo con aplicaciones relevantes en todos los sectores: aeronáutico, automoción, joyería, manufacturas en general, medicina, moldes, etc.

**Palabras clave:** *Fabricación aditiva; diseño de productos; desarrollo de productos*

## 1. Introducción

La tecnología conocida como Fabricación Aditiva o *Additive Manufacturing* (AM), como se conoce internacionalmente, consiste, básicamente, en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido.

Aunque novedosas, son muy diversas las tecnologías que permiten fabricar piezas por este principio, y van a suponer ser una nueva revolución industrial. La posibilidad de prescindir de utillajes, de reproducir cualquier geometría que el ser humano pueda imaginar (y dibujar), la inmediatez en la respuesta a la demanda cambiante del consumidor, y otra serie de ventajas que se explican más adelante, hacen del AM una auténtica pieza angular del futuro industrial en los países más desarrollados. (Gebhardt, 2012).

En este artículo se recogen los aspectos más destacables del AM, se explican los conceptos fundamentales para entender esta tecnología, se describen las ventajas frente a procesos convencionales de fabricación y también los retos que aún debe superar para conseguir su aplicación exitosa en múltiples sectores.

## 2. Objetivos

Con este artículo se trata de explorar el alcance que tiene la fabricación aditiva, identificar las nuevas aplicaciones y los retos de futuro como herramienta de ayuda al diseño y al desarrollo de productos.

## 3. Metodología

El método empleado para esta exploración consiste en identificar, a través de la literatura reciente, las novedades que las tecnologías de fabricación aditiva están impactando en la industria y en el mercado. Se analizan las ventajas y las limitaciones para el diseño de nuevos productos, los retos de futuro y las aplicaciones en sectores industriales diversos y los nuevos sectores previsibles de futuro.

## 4. Estado del arte

En las tres últimas décadas se está asistiendo a una transición hacia lo digital en distintos ámbitos de la vida, tanto personal como profesional. Existen multitud de ejemplos que hablan por sí solos de este vertiginoso cambio: los sistemas CAD, CAM, CAE; la TDT, la resonancia magnética y la TAC, la ecografía 3D, etc.

Las fábricas no son ajenas a este fenómeno. Los sistemas de Diseño Asistido por Computador (CAD), que afectan a la concepción del producto en las oficinas técnicas, pero también son bien conocidos los software de Fabricación Asistida por Computador (CAM) o para la asistencia a la Ingeniería (CAE), el empleo de autómatas y robots en planta, la inspección por visión artificial, el control del avance de la producción en tiempo real (MES), o incluso la modelización y recreación virtual de procesos y fábricas enteras con software de simulación (CAPE). Los avances de la cibernética permiten procesar a gran velocidad ingentes cantidades de datos y manejar sistemas mecánicos superando los límites conocidos de fiabilidad y precisión. Los avances del software y de las técnicas

computacionales son los que permiten avances sustanciales en las tecnologías de la fabricación aditiva. (Tiwari, 2011).

Mediante las tecnologías aditivas (AM) se obtiene la geometría añadiendo material a partir de geometría virtual, sin uso de preformas (técnicas conformativas) y sin sustraer material (técnicas sustractivas), tal como se indica en la Figura 1. (Hopkinson N., 2006).

Con la introducción del concepto de *Mass Customization* o personalización masiva se consigue la individualización y personalización en la fabricación de bienes a costes de producción en masa. (Fogliatto, 2010).

Las técnicas de prototipado rápido han venido evolucionando hacia tecnologías más sofisticadas que se están consolidando como tecnologías de fabricación aditiva, con identidad propia, y diferenciadas de las de prototipado rápido. (Gibson, 2010).

**Figura 1: Concepto de fabricación sustractiva comparado con AM**



Fuente: Cotec, 2011

Son muy diversas las técnicas de aplicación de AM (como la Estereolitografía o el Sinterizado Selectivo) que permiten obtener piezas directamente de un archivo CAD 3D, "imprimiéndolas" de forma totalmente controlada sobre una superficie. El concepto de impresora en 3D ha venido acuñándose desde hace años en la literatura de este sector de actividad. (Bourell, 2009). Por ello también se han empleado otros términos para referirse a ellas como *e-manufacturing* (Fabricación Electrónica), *Direct Manufacturing* (Fabricación Directa) o *Additive Layer Manufacturing-ALM* (Fabricación Aditiva por Capas). (Wohlers, 2012).

Recientemente han aparecido informes extensos sobre las últimas tendencias tecnológicas de la fabricación aditiva y sobre prospectiva de nuevas tecnologías que orientan a los usuarios acerca de las nuevas posibilidades de fabricación. (Wohlers, 2012).

Prácticamente en desuso está la taxonomía que atiende al destino final de la pieza fabricada, y que en origen servía para distinguir tecnologías de bajo nivel (Prototipado rápido) si lo que se pretende fabricar es un prototipo, o de alto nivel (Fabricación directa o Rapid Manufacturing) cuando se consigue la pieza final y el producto es, por lo tanto, plenamente funcional. (Cotec, 2011).

## 5. Ventajas y retos de futuro de la fabricación aditiva

Las principales características que distinguen el proceso de fabricación de sólidos por adición de capas de material (AM) de cualquier otro proceso de fabricación industrial, y que le confieren enormes ventajas competitivas, son las siguientes: complejidad geométrica y personalización del proceso de diseño y desarrollo del producto.

La complejidad geométrica a conseguir no encarece el proceso: características como la esbeltez, un vaciado interior, canales internos, los espesores variables, las formas irregulares e incluso la reproducción de la naturaleza (persiguiendo ergonomía, aerodinámica, hidrodinámica, entre otros) son retos que los métodos convencionales (sustractivos y conformativos) de fabricación de piezas no han resuelto más que con aproximaciones, ensamblajes o por medio de procesos de muy alto coste, y que para el AM son, en muchas ocasiones, propiedades muy poco relevantes a la hora de fabricar una pieza. (Hopkinson N., 2006).

Por otra parte la fabricación aditiva permite fabricar productos, sin penalizar el coste, independiente de si se tienen que fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas, lo que facilita la personalización, que es una de las principales tendencias actuales en el desarrollo de productos de alto valor añadido y con diseños complejos; la personalización en masa es uno de los paradigmas que persigue la industria en países desarrollados y que se considera clave para su sostenibilidad. (Flogiatto, 2010).

Estas dos características se pueden traducir en ventajas en muchos sectores industriales, que hacen que el AM sea el proceso más competitivo para la fabricación de piezas en muchas aplicaciones. De hecho permite materializar ejecuciones que son simplemente imposibles por cualquier tecnología de fabricación (sustractiva o conformativa) en diversas fases de la cadena de valor industrial, tales como: desarrollo de nuevos productos (modelos conceptuales, prototipos); obtención de útiles, patrones, moldes,...en el proceso de industrialización y pre-series; y producción de productos finales. (Wohlers, 2011).

### 5.1 Ventajas asociadas a los productos a fabricar

En los productos que requieren de una gran complejidad de forma, paradójicamente, mientras una geometría compleja suele suponer un aumento del coste por procesos convencionales (sustractivos o conformativos), cuando se aplica AM puede suponer incluso un abaratamiento o simplificación.

Por ejemplo, en el caso de la Figura 2, es mucho más barato acometer el diseño con la compleja escalera helicoidal interior y el detalle de sillería en la superficie de la torre, que ejecutar una forma simplificada, maciza interiormente y lisa en el exterior. Esto es debido a que mediante la tecnología AM, también conocida como impresión en 3D, la deposición de partículas del material elegido se ejecuta mucho más fácilmente en la figura compleja, por disponer más huecos, que en la figura compacta, moneda densa en toda su extensión ya que el proceso de deposición del material tarda más en este caso. (Cotec, 2011).

Estas nuevas capacidades de ejecución geométrica habilitan un diseño que pueda jugar con distintas composiciones tridimensionales del material, a la hora de concebir un producto y no sólo por una cuestión estética, sino que a veces permite actuar sobre propiedades químicas, mecánicas o eléctricas y adaptar un comportamiento a las necesidades estrictamente requeridas en cada caso (resistencia, capilaridad, aerodinámica, conductividad). (Gebhardt, 2012).

**Figura 2: Geometría interna compleja en la escalera helicoidal interna de una torre del tamaño de una moneda**



Fuente: Cotec, 2011

Estas posibilidades suponen un cambio radical en el proceso de diseño de los productos y permiten gran libertad creativa, así como la réplica exacta de modelos teóricos de ingeniería (análisis con elementos finitos, por ejemplo), sin las aproximaciones (más o menos ajustadas) que imponen los métodos sustractivos o conformativos. (Bourell, 2009).

La complejidad geométrica tiene una aplicación especialmente destacable en la reducción del peso de un objeto (productos aligerados), por medio de estructuras internas huecas o jugando con la densidad de los materiales, por ejemplo. Las técnicas de AM pueden llegar incluso a materializar gradientes de porosidad en un mismo material, aligerando sólo aquellas partes del producto que el diseñador estima que estarán menos solicitadas

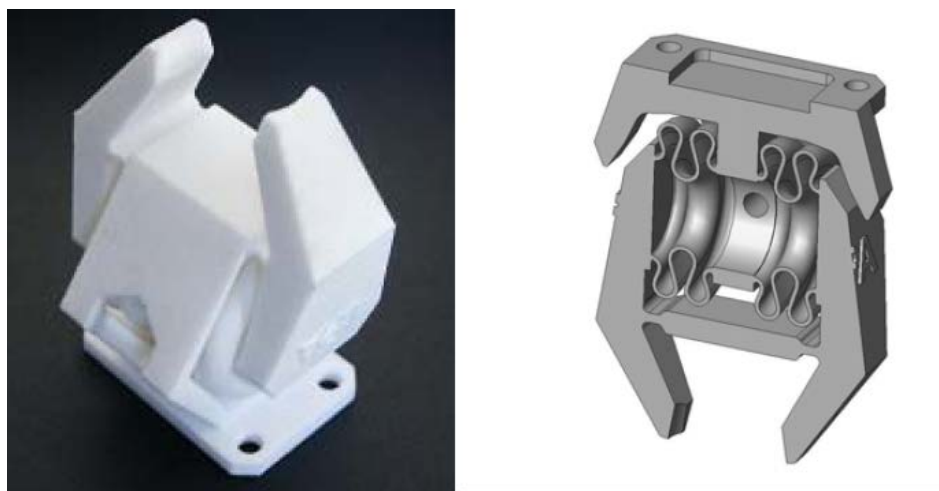
En algunas tecnologías de AM, como es el caso de Objet, además de jugar con la porosidad de un mismo material el AM puede fabricar aportando simultáneamente varios materiales en un mismo sólido, para así seguir superando limitaciones actuales en la relación peso-resistencia mecánica o aportando funcionalidades nuevas o abaratando costes (productos multi-material). (Wohlers, 2012).

Otra gran ventaja de la absoluta libertad geométrica que confiere el AM a sus productos es la adaptación de las formas a la biomecánica humana, de manera que los diseños alcancen una mejor interacción con el usuario sin necesariamente afectar los costes de fabricación (ergonomía, personalización), lo que proporciona claras aplicaciones para el sector médico-sanitario. (Frontiers, 2011).

Al poder integrar distintas geometrías y materiales en un mismo sólido, el AM puede conseguir incluso que simultáneamente se fabrique un eje y su cojinete, un rodamiento, un muelle y su soporte, un tornillo sinfín y su corona, en definitiva, un mecanismo totalmente embebido en la pieza en la que debe trabajar, sin necesidad de armados y ajustes posteriores (mecanismos integrados), tal y como se indica en la Figura 3.

El avance de las técnicas de AM, cada vez más sofisticadas y precisas, unida a la imaginación de los diseñadores ha permitido ir descubriendo (y más aún lo hará en el futuro), ya no sólo nuevas soluciones a productos actuales, sino aplicaciones radicalmente nuevas e incluso modelos de negocio basados en estas tecnologías (acceso a nuevos nichos de mercado). Ejemplos destacables son la aparición de nuevos tejidos metálicos, un producto bidimensional, fruto de una técnica de fabricación tridimensional, o la producción controlada y personalizada de texturas, característica hasta ahora muy dependiente del proceso de fabricación (acabado del molde, tamaño de la herramienta,...). (Bourell, 2009).

**Figura 3: Ejemplo de integración de funciones en una sola pieza. Pinza para brazo robotizado.**



Fuente: Fraunhofer IPA y EOS GmbH (Tomado de Cotec, 2011)

## 5.2 Ventajas asociadas a los procesos de ejecución

La aplicación de AM a la producción rápida de prototipos ha permitido, desde hace años, reducir los errores de comunicación entre los distintos participantes en un nuevo diseño y acelerar su salida al mercado, así como reducir el riesgo de fracaso, aún cuando la fabricación en serie se ha seguido haciendo por métodos convencionales. Si se da un paso más, y se puede disponer de una técnica de fabricación para materializar el producto final, ya no como prototipo intermedio, se pueden reducir drásticamente muchas de las fases actuales de lanzamiento y validación, así como flexibilizar su adaptación a las continuas demandas continuamente cambiantes de dicho mercado (reducción del *time to market*).

La fabricación permite reducir los lotes de fabricación, llegando incluso a la serie unitaria, sin apenas costes extras de fabricación, al prescindir de utillaje, lo que supone una ventaja absoluta respecto a métodos de fabricación sustractivos y/o conformativos (productos con series cortas).

La integración de componentes puede permitir la fabricación de una sola vez del producto acabado, evitando procesos de ensamblaje de componentes, reduciendo además posibles errores durante el ciclo completo de producción (control de inventarios, procesos intermedios de inspección, manipulaciones).

La posibilidad de implementar un modelo de negocio donde el producto no esté ligado a utillajes supone no sólo gran flexibilidad de adaptarse al mercado, sino que se consigue una

reducción o eliminación de costes asociados (fabricación del utillaje, paradas por cambios de referencia, mantenimiento e inspección), y de muchos procesos intermedios.

Una opción que no se debe olvidar es combinar procesos AM con procesos convencionales (sustractivos y/o conformativos), para aprovechar las ventajas de ambos (procesos híbridos).

### 5.3 Limitaciones y retos de futuro

A pesar de los evidentes avances que puede aportar a la industria por sus indiscutibles ventajas, existen limitaciones que hacen que las tecnologías AM no se hayan implantado aún de manera generalizada en muchos sectores. Las limitaciones actuales son debidas, tanto a los propios procesos de AM, que aún pueden ser mejorados, como a procesos periféricos o auxiliares (manipulaciones previas de material, post-proceso, control calidad) que condicionan en muchos casos su viabilidad, e incluso al desconocimiento de cómo diseñar los productos o reorientar los negocios industriales para integrar de forma exitosa estas nuevas tecnologías. (Bourell, 2009). Dichas limitaciones son, sin duda, superables, y constituyen retos para la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación que actualmente están siendo abordados por equipos de investigadores y empresas en todo el mundo.

Así, en muchos materiales tanto metálicos como no metálicos, la gama disponible es muy inferior a la que se puede trabajar por métodos sustractivos y/o conformativos, y además el coste de adquisición de material, por unidad de medida, suele ser también bastante superior. Estos problemas de disponibilidad y coste de la materia prima son inherentes a los bajos volúmenes de consumo actuales, ya que se produce el conocido círculo vicioso entre baja demanda, que no justifica las inversiones necesarias en los productores de nuevos materiales, y el alto coste unitario que disuade de un aumento del consumo. (Frontiers, 2011).

Acabado superficial de las piezas y velocidad de fabricación: estos aspectos se presentan juntos, pues el aumento de la velocidad de fabricación condiciona la calidad del acabado superficial.

Calidad de producto y repetibilidad de proceso: algunas tecnologías AM presentan problemas de repetitividad y capacidad de proceso, es decir no se puede asegurar la precisión dimensional con la que va a realizar una pieza y la siguiente. Asimismo la estabilidad en las propiedades físicas del producto (dureza, elasticidad, carga de rotura, metalurgia,...), aspecto crítico para su homologación en determinados sectores (automóvil, aeronáutico, médico,...), es también una asignatura pendiente. (Gibson, 2010).

Tamaño limitado de piezas: el volumen de pieza máximo que se puede construir hoy en día es bastante limitado.

Coste de la maquinaria: es un problema análogo al del coste de la materia prima, y por lo limitado del mercado actual, el coste de la maquinaria supone una barrera de entrada.

Desconocimiento por parte de los diseñadores industriales: los diseñadores actuales han sido instruidos para concebir piezas que se puedan fabricar por métodos sustractivos o conformativos, y esto se convierte en una limitación muy considerable para sacarle todo el partido posible a las tecnologías AM.

Finalmente, la posibilidad futura que se abre de poder llegar a fabricar los productos de manera individual por parte del público en general, por ejemplo mediante descargas por

Internet de diseños, hace que se deban considerar asuntos relacionados con la propiedad intelectual de dichos diseños.

En la Tabla 1 se resumen las ventajas y las limitaciones de la fabricación aditiva.

**Tabla 1: Ventajas y limitaciones de la fabricación aditiva (AM)**

Ventajas	Limitaciones
Complejidad geométrica, personalización	Tecnologías AM en desarrollo
Libertad creativa	Procesos periféricos y auxiliares
Adaptación al mercado	Desconocimiento de los diseñadores
Acceso a nuevos nichos de mercado	Disponibilidad y coste de la materia prima
Mecanismos integrados	Acabado superficial
Reducción de peso, productos aligerados	Velocidad de fabricación
Reducción del <i>time to market</i>	Calidad del producto y repetibilidad del proceso
Reducción de costes de procesos intermedios	Tamaño limitado de piezas
Procesos híbridos	Coste de la maquinaria

## 6. Sectores de aplicación

Se detallan a continuación algunos de los sectores y aplicaciones donde las tecnologías AM son actualmente empleadas, y donde aún disponen de gran potencial de crecimiento, gracias, precisamente, a que se han podido experimentar en condiciones reales y se han podido valorar las ventajas que aportan frente a procesos sustractivos o conformativos. (Wohlers, 2011).

En el sector médico-sanitario hay necesidad de piezas únicas (piezas dentales, implantes artificiales personalizados) adaptadas a las circunstancias de cada paciente, cada doctor y cada tratamiento, difícilmente repetibles. Aunque la solución al problema entrañe altos costes, es un sector de alto valor por tratar con temas de salud y calidad de vida. (Frontiers, 2011).

Los bajos volúmenes de fabricación, la necesidad de un compromiso óptimo entre la resistencia mecánica de las piezas y su peso, la personalización y la necesidad de utilizar geometrías complejas constituyen un escenario ideal para que el AM sea aplicable en el sector aeronáutico, imbatible frente a otros procesos de fabricación. (Hopkinson N., 2006).

La aplicación de AM está teniendo una notable repercusión en uno de los sectores industriales más innovadores tanto en productos como en los procesos de fabricación. Los grandes constructores de automoción actúan como tractores, y actualmente están aplicando AM en la fabricación de prototipos y para la validación de las primeras series de los nuevos modelos. (Frontiers, 2011).

El *Rapid Tooling* es una aplicación muy interesante del AM, ya que la pieza final obtenida corresponde a un proceso convencional ya establecido (inyección por ejemplo), y es el



molde el que se ha construido utilizando las ventajas que ofrece el AM (molde y matricería). (Gibson, 2010).

Las tecnologías de AM están teniendo una acogida singular por parte de los diseñadores de productos de gran consumo, que aprecian la rapidez en el rediseño y la libertad que les confiere, de forma diferencial con cualquier otra tecnología. El sector de la joyería es buen ejemplo, se inició en la aplicación de AM como medio para un prototipado rápido de los diseños y está evolucionando hacia la personalización de los productos con geometrías complejas, como se muestra en la Figura 4. (Frontiers, 2011).

**Figura 4: Anillos con geometrías complejas y personalización en el sector de la joyería.**



Fuente: Fundación Pro dintec (Tomado en Cotec, 2011)

El desconocimiento de las posibilidades que la tecnología ofrece en determinados campos es uno de los principales limitadores a la hora de su aplicación, así como barreras antes mencionadas en el coste/pieza, los altos volúmenes de producción, la reducida gama de materiales y el tamaño máximo de pieza. Se requiere trabajo conjunto entre expertos en tecnología de AM y expertos sectoriales para entrar en las fases iniciales del diseño, y de esta forma facilitar la producción por estas tecnologías con viabilidad técnica y económica. (Cotec, 2011).

El fenómeno de la personalización en muchos sectores manufactureros es una meta a conseguir y se da un valor diferencial a esta capacidad de diseñar y fabricar productos adaptados a cada cliente o aplicación concreta, lo que supone un importante aliciente para llegar a una implantación definitiva del AM en sectores como el calzado, la ropa deportiva, los teléfonos móviles, accesorios de ordenadores (ratones, joysticks,...) o las gafas. (Fogliatto, 2010).

El empleo de tecnologías de AM hace replantearse el propio concepto de fábrica que conocemos actualmente. El escenario 2.0 contempla la posibilidad de que sean los usuarios finales quienes diseñen o configuren el producto a partir de un soporte web, y envíen el modelo digital a una “fábrica” que puede estar deslocalizada, o incluso a una impresora 3D local, en su propio domicilio (fábrica 2.0 y fábrica itinerante). (Wohlers, 2012).

## 7.- Conclusiones

Las tecnologías de fabricación aditiva (AM) suponen un nuevo paso en la evolución tecnológica hacia una industria sostenible y generadora de servicios asociados de alto valor añadido. Estas técnicas hacen realidad nuevos paradigmas que actualmente se persiguen en el diseño y fabricación de productos, como por ejemplo:

- “personalización en masa”, la capacidad de combinar las bondades del trabajo artesano con el volumen de demanda de un gran mercado. Ahora el diseñador es el artesano en la era digital.
- desaparecen muchas limitaciones geométricas a los que los diseñadores debían adaptar sus creaciones para que fueran fabricables, y esto les permite dar rienda suelta a su imaginación, resolviendo problemas hasta ahora inabordables;
- “la fábrica digital”, mucho más basada en activos lógicos (software) que físicos (utillajes, moldes, herramientas), y por lo tanto mucho más configurable, adaptable, flexible;
- “entorno fabril 2.0”, que permitirá que cualquiera pueda ser dueño de una empresa fabricante de sus propios productos, o involucrarse en el diseño de productos en red con entornos de fabricación distribuidos geográficamente;
- “procesos con desperdicio nulo”, ya que se consumirá sólo el material estrictamente necesario, la energía imprescindible y reduciendo notablemente el impacto medioambiental;

Las tecnologías de AM están llamadas a suponer una nueva revolución industrial, íntimamente vinculada con las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), y para la que toda la sociedad, a nivel individual y colectivo, debe ir preparándose.

## 8. Referencias

- Bourell D., Leu M., Rosen D. (2009). *Roadmap for Additive Manufacturing: Identifying the Future of Freeform Processing*. University of Texas USA.
- Cotec (2011). *Fabricación aditiva*. Documentos Cotec de Oportunidades Tecnológicas. Fundación Cotec. Madrid.
- Frontiers of Engineering. (2011). *Reports en Leading-Edge Engineering from de 2011 Symposium*. The National Academies Press.
- Fogliatto, Flavio. (2010). *Mass Customization: Engineering and Managing Global Operations*. Springer.
- Gebhardt, Andreas. (2012). *Understanding Additive Manufacturing: Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing*. Hanser Gardner Publications.
- Gibson, Rosen and Stucker. (2010). *Additive Manufacturing Technologies: Rapid prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Springer.
- Hopkinson N., Hague R.J.M., Dickens. P.M. (2006). *Rapid Manufacturing - An Industrial revolution for the digital age*, Publisher-John Wiley and Sons Ltd UK.
- Tiwari and Harding. (2011). *Evolutionary Computing in Advanced Manufacturing*. John Wiley & Sons and Scrivener Publishing.

Wohlers Report 2011. (2011). *Additive Manufacturing. State of the Industry*. Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates

Wohlers Report 2012. (2012). *Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry*. Annual Worldwide Progress Report. Wohlers Associates

### **Correspondencia**

Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica

Phone: + 0034 91 436 47 74

Fax: + 0034 91 431 12 39

E-mail : [manuel.zahera@cotec.es](mailto:manuel.zahera@cotec.es)

URL : <http://www.cotec.es>